ENCYCLOPÉDIE
CHIMIQUE

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. FREMY

Membre de l'Institut, professeur à l'École polytechnique, directeur du Muséum
Membre du Conseil supérieur de l'instruction publique

PAR UNE RÉUNION

D'ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE, DE PROFESSEURS ET D'INDUSTRIELS

ET NOTAMMENT DE

MM. **ARSON** et **AUDOUIN**, ing. en chef des travaux chim. à la Compagnie parisienne du gaz
H. **BECQUEREL**, répétiteur à l'École polytechnique; **BERTHELOT**, sénateur, membre de l'Institut
BOUILLET, ing. dir. de la maison Christophle; M. **BOURGEOIS**, prép. du cours de chimie organique au Muséum
BOURGOIN, profes. à l'École de pharm.; **BOUTAN**, ingén. des Mines; **CAMUS**, directeur de la Compagnie du gaz
An. **CARNOT**, directeur des études de l'École des mines; **CHASTAING**, pharmacien en chef de la Pitié
CLÈVE, prof. à l'Université d'Upsal; Ch. **CLOEZ**, répétit. à l'École polyt.; **CUMENGE**, ing. en chef des mines
CURIE (J.), maître de conférences à la Faculté des sciences de Montpellier; **DEBIZE**, ingénieur des manuf. de l'État
DEBRAY, membre de l'Institut; **DECAUX**, directeur des teintures des manuf. de l'État; **DEHÉRAIN**, prof. au Muséum
DITTE, professeur à la Faculté des sciences de Caen; **DUBREUIL**, président de la chambre de commerce à Limoges
DUCLAUX, prof. à l'Instit. agronom.; **DUPRÉ**, s.-dir. du labor. municipal; **DUQUESNAY**, ing. des manuf. de l'État
EUVERTE, directeur des forges de Terre-Noire; De **FORCRAND**, docteur ès-sciences; **FUCHS**, ing. en chef des Mines
GAUDIN, ancien élève de l'École polytechnique, prof. de chimie; **GIRARD**, directeur du laboratoire municipal
L. **GRUNER**, inspecteur général des mines; **GUNTZ**, docteur ès-sciences
HENRIVAUX, direct. de la manuf. des glaces de St-Gobain; **HERSEL**, ingénieur civil des Mines
JOANNIS, docteur ès-sciences; **JOLY**, maître de conférences à la Sorbonne
JOULIE, pharmacien en chef de l'hospice Dubois; **JUNGFLEISCH**, professeur à l'École de pharmacie
KOLB, administrateur de la Société des manufactures des produits chimiques du Nord
LEIDIÉ, pharm. en chef de l'hôpital Necker; **LEMOINE**, ing. en ch. des ponts et chaussées, répétit. à l'École polytechnique
LODIN, ing. des mines; **MALLARD**, prof. à l'École des mines; **MARGOTTET**, prof. à la Faculté des sciences de Dijon
MARGUERITTE, prés. du conseil d'admin. de la compagnie paris. du gaz; **MARGUIN**, anc. élève de l'École polyt.
MATHEY, dir. des houillères de Blanzy; **MEUNIER** (Stanislas), aide natur. au Muséum; **MOISSAN**, agrégé à l'Éc. de pharm.
MOUTIER, examinateur de sortie à l'École polytechnique
MUNTZ, dir. des travaux pratiques de Chimie au cons. des Arts-et-Métiers; **NIVOIT**, profes à l'École des ponts et chaussées
ODENT, anc. élève de l'École polytechnique; **OGIER**, dir. du laboratoire de toxicologie à la préfecture de police
PABST, chimiste principal au laboratoire municipal; **PARMENTIER**, profes. de la Faculté des sciences de Montpellier
PÉCHINEY, directeur des usines de produits chim. du midi; **PERSOZ** fils, directeur de la condition des soies
POMMIER, industriel; **PORTES**, pharm. en chef de l'hôpital de Lourcine; **PRUNIER**, prof. à l'École de pharmacie
RIBAN, directeur du laboratoire de la Sorbonne; **ROSWAG**, ingénieur civil des Mines
ROUSSEAU, s.-dir. du laboratoire de chimie de la Sorbonne; **SABATIER**, prof. à la Faculté des sciences de Toulouse
SARRAU, professeur à l'École polytechnique; **SCHLAGDENHAUFEN**, prof. à la Faculté de médecine de Nancy
SCHLŒSING, prof. au Conservatoire des arts et métiers; **SOREL**, anc. ingén. des manuf. de l'État
TERREIL, aide naturaliste au Muséum; **TERQUEM**, professeur à la Faculté de Lille
URBAIN, répétiteur à l'École centrale des arts et manufactures; **VERNEUIL**, professeur de chimie
VIEILLE, ing. des poudres et salpêtres; **VILLIERS**, agrégé à l'École de pharm.; **VINCENT**, prof. à l'École centrale
VIOLLE, prof. à la Faculté des sciences de Lyon; **WELDON**, membre de la Société royale de Londres, etc.

TOME II. — MÉTALLOÏDES

(*Complément*)

1re PARTIE. — **Charbon de bois. — Noir de fumée. — Combustibles minéraux.**

Par MM. URBAIN et Stanislas MEUNIER

PARIS

Vve CH. DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES CHEMINS DE FER
DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, Quai des Augustins, 49

1885

CHARBON DE BOIS

Par M. URBAIN.

Le charbon de bois est le résidu fixe que laisse la combustion incomplète du bois ou sa distillation.

Le bois, séché à l'air, présente en moyenne la composition suivante :

Carbone.	38,5
Eau combinée.	35,5
Cendres.	1,0
Eau libre..	25,0
	100

On voit donc que si le bois pouvait se décomposer, sous l'action de la chaleur, en eau et en carbone, on devrait obtenir 38,5 de carbone. Mais on ne saurait éviter, pendant cette opération, la production de gaz hydrogène carboné, d'oxyde de carbone, de goudron, d'acide acétique, etc., corps qui contiennent tous du carbone. Aussi les méthodes les plus parfaites ne donnent-elles que 27 à 28 pour 100 de charbon. Les procédés ordinaires de carbonisation employés dans les forêts n'en donnent que 17 à 18 pour 100.

La quantité et la nature du charbon obtenu par la carbonisation du bois varient avec la température, la durée de l'opération et la nature du bois.

Influence de la température. — Le bois, soumis pendant le même temps à des températures croissantes, depuis 200 jusqu'au delà de 1600°, laisse un résidu dont le poids va constamment en diminuant, et dont la composition est également variable. Le tableau suivant donne les principaux résultats des expériences faites à ce sujet par M. Violette sur du bois de bourdaine préalablement desséché :

TEMPÉRATURES	POIDS DU RÉSIDU de 100 KILOGRAM. DE BOIS	COMPOSITION POUR 100 PARTIES EN POIDS			
		CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE et AZOTE	CENDRES
	kg				
200°	77,1	51,8	4,0	44,0	0,2
250	49,7	65,6	4,8	29,0	0,6
300	33,6	73,2	4,2	21,9	0,6
350	29,7	76,6	4,1	18,4	0,6
432	18,9	81,6	2,0	15,2	1,2
1023	18,7	82,0	2,3	14,1	1,6
1500	17,3	94,6	0,7	3,8	0,7
Fusion du platine	15,0	96,5	0,6	0,9	2,0

A la température de 200°, le résidu obtenu présente encore à peu près la composition du bois; vers 300° il a perdu plus de la moitié des éléments volatils qu'il renfermait à 200° et constitue ce que l'on appelle le *charbon roux*. Entre 400 et 1000° la composition du résidu demeure sensiblement constante; c'est celle que présente le *charbon noir* ou charbon de bois ordinaire.

Il résulte de ces expériences que la composition du charbon de bois est variable avec la température à laquelle s'est effectuée la carbonisation.

Le charbon obtenu à 250°	contient	65	pour 100 de carbone	
— à 300°	—	73	—	
— à 400°	—	80	—	
— à 1500°	—	96	—	

On voit que, sans parler des matières minérales que renferme toujours le charbon de bois, il est impossible d'obtenir du carbone pur par la carbonisation du bois. Le charbon contient toujours des produits dans la composition desquels entrent l'hydrogène et l'oxygène, et que la chaleur ne peut chasser complètement. Toutefois la quantité de ces produits est d'autant moindre que la température de la carbonisation a été plus élevée.

Ainsi, pour le charbon obtenu :

à 250°,	la proportion de ces produits	est	$\frac{1}{2}$	du poids du charbon.
à 300°	—	—	$\frac{1}{3}$	—
à 350°	—	—	$\frac{1}{4}$	—
à 400°	—	—	$\frac{1}{20}$	—
vers 1500°	—	—	$\frac{1}{100}$	—

De ces différences de composition du charbon de bois suivant la température à

laquelle il a été produit, résultent des différences très notables dans ses propriétés.

La densité du charbon varie beaucoup avec la température de la carbonisation. Elle est de 1,402 pour le charbon préparé à 300°, et elle atteint la valeur de 2,00, double de celle de l'eau, pour le charbon obtenu vers 1500°.

Le charbon est d'autant meilleur conducteur de la chaleur et de l'électricité qu'il a été obtenu à une température plus élevée. La conductibilité est très faible pour les charbons obtenus entre 150 et 300°; mais celui qui est obtenu vers 1500° a une conductibilité pour la chaleur égale aux deux tiers de celle du fer, et il conduit l'électricité beaucoup mieux que le charbon des cornues à gaz.

Les charbons d'un même bois, préparés à des températures croissantes, prennent feu à l'air à des températures de plus en plus élevées :

Les charbons obtenus	entre 260 et 280°	prennent feu à l'air	de 340 à 360°
	— 290 et 350°		de 360 à 370°
	à 400° environ		vers 400°
	entre 1000 et 1500°		de 600 à 800°

Ces derniers charbons sont d'une combustion difficile.

Les charbons, une fois allumés, restent en ignition pendant un temps qui décroît avec la température de leur carbonisation : ceux qu'on a obtenus à la plus basse température brûlent le plus longtemps.

Le charbon de bois exposé à l'air absorbe de l'eau en quantité variable suivant la température de sa carbonisation. Ainsi :

Le charbon obtenu	à 150°	peut absorber	21	pour	100 d'eau.
—	à 250°	—	7		—
—	à 350°	—	6		—
—	à 450°	—	4		—
—	vers 1500°	—	2		—

Plus la température de carbonisation a été basse et plus le charbon peut absorber d'eau.

Influence de la nature du bois. — Les diverses essences de bois carbonisées à la même température ne donnent pas la même quantité de charbon ; les bois les plus durs, tels que le buis, le chêne, laissent une quantité de charbon plus considérable que les bois légers.

Le tableau suivant, dressé par M. Violette, indique la quantité de charbon obtenue de 100 parties de bois desséché à 150° et carbonisé à 300°.

Essences des bois.	Quantité de charbon obtenue
Orme	46,99
Gaïac	41,86
Buis	40,44
Frêne	38,28
Chêne	34,60

Essences des bois.	Quantité de charbon obtenu.
Charme	34,44
Boulcau	34,17
Érable	33,75
Bourdaine	33,61
Cornouiller	33,36

Le charbon obtenu par la carbonisation à la même température des diverses essences de bois n'a pas la même composition, ainsi que l'indique le tableau suivant :

BOIS AYANT DONNÉ le CHARBON ANALYSÉ	COMPOSITION POUR 100 PARTIES EN POIDS			
	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	CENDRES
Bourdaine	73,236	4,254	21,962	0,569
Bouleau	71,153	4,552	23,554	0,760
Buis	70,499	3,740	25,115	0,643
Frêne	70,395	4,539	24,367	0,692
Érable	70,069	4,613	24,892	0,425
Cornouiller	69,026	3,840	26,490	0,654
Charme	68,835	4,142	26,382	0,641
Peuplier	68,741	4,866	25,539	0,853
Houx	68,521	4,741	25,890	0,847
Tremble	68,169	5,512	25,729	0,589
Chêne	67,421	4,099	28,479	0,200
Orme	66,862	4,669	28,181	0,288

On voit à l'inspection de ce tableau que le charbon de bois est une matière complexe dont la composition est variable suivant les essences de bois qui l'ont produit.

Influence de la vitesse de la carbonisation. — La conduite plus ou moins rapide de la carbonisation exerce également une influence considérable sur le rendement en charbon.

Au lieu de chauffer graduellement le bois de façon à l'amener peu à peu à la température maxima à laquelle il doit être porté, on peut introduire celui-ci dans des fours préalablement chauffés à cette température, laquelle sera maintenue pendant toute la durée de l'opération.

Dans cette dernière façon d'opérer, le rendement est sensiblement moitié de ce que donne la première méthode.

M. Violette, en opérant sur le bois de bourdaine, obtint par une décomposition rapide 9 pour 100, et par une décomposition lente 18,9 pour 100 d'un charbon de composition à peu près identique dans les deux cas.

Karsten a opéré sur onze sortes de bois différents séchés à l'air et a obtenu comme charbon produit :

	Minimum	Maximum	Moyenne
Par une décomposition rapide.	12,20	16,5	14,4 0/0
Par une décomposition lente.	24,60	27,7	25,6 0/0

Ces faits concordent d'ailleurs avec les résultats des expériences de Pettenkofer sur la nature du gaz d'éclairage que l'on peut préparer par la décomposition du bois par la chaleur. Lorsque le bois est chauffé graduellement et à une température peu élevée, le gaz obtenu est peu riche en carbone et peu éclairant; si au contraire on porte le bois rapidement à une température élevée, le gaz contient beaucoup de carbone et possède un pouvoir éclairant comparable à celui du gaz de houille.

Dans ce dernier cas, les produits volatils que laisse dégager le bois, étant chassés seulement au moment où la température de la masse ligneuse est déjà élevée, ces produits peuvent réagir sur le charbon et donner naissance à des composés fortement carburés qui ne peuvent se former lorsque, dans une décomposition lente du bois, ces produits volatils ont été expulsés dès que la température a atteint 200° à 300°.

Ajoutons que dans la décomposition rapide du bois à température élevée, l'eau que renferme cette substance est décomposée par le charbon en donnant de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène; d'autre part, l'acide carbonique que laisse dégager ce bois, passant sur du charbon porté à une température élevée, lui prend une quantité de carbone égale à celle qu'il renfermait déjà pour devenir oxyde de carbone.

But de la carbonisation du bois. — Nous venons de voir qu'un même bois, soumis à la carbonisation, peut laisser un résidu de charbon dont le poids et la nature sont variables, suivant que l'opération a été effectuée à une température plus ou moins élevée, suivant que cette carbonisation a été conduite plus ou moins vivement. Il est facile de se rendre compte de ces résultats.

Lorsqu'on porte le bois à une température élevée, les éléments volatils, hydrogène, oxygène et azote, qui entrent dans sa constitution, ont une tendance à se dégager et à se séparer du carbone qui est fixe. Mais en réalité les phénomènes sont beaucoup plus complexes. Sous l'influence de la chaleur, les combinaisons primitives existant dans le bois sont détruites, mais en même temps l'énergie des affinités chimiques variant avec la température, il s'établit de nouveaux équilibres : des combinaisons volatiles dans lesquelles une partie du carbone s'est unie à quelques-uns des éléments gazeux, se dégagent, tandis qu'une partie des mêmes éléments volatils forme avec une autre portion du carbone des produits fixes.

Ces derniers subsisteront jusqu'à ce qu'un nouvel accroissement de la température détermine la rupture de cet état d'équilibre.

A mesure que la température s'élèvera, de nouveaux composés volatils se formeront et se sépareront, et l'on obtiendra un résidu plus riche en carbone, plus pauvre en éléments volatils que le précédent.

Les produits volatils qui se dégagent pendant la carbonisation sont les uns gazeux, comme l'aide carbonique, l'oxyde de carbone, le formène, l'hydrogène, l'acétylène, l'étylène, les autres condensables. Ces derniers, lorsqu'on les recueille

se séparent en deux couches : la couche inférieure est formée d'eau tenant en dissolution de l'acide acétique et quelques-uns de ses homologues, l'acide propionique et l'acide butyrique, de l'acétone, de l'alcool méthylique et de l'éther méthylacétique. La couche supérieure est huileuse, colorée en jaune ou en brun; elle constitue le *goudron de bois*, composé d'un certain nombre de corps liquides et solides, parmi lesquels on peut mentionner la paraffine, la naphtaline, la benzine, le styrolène, les phénols, et la créosote.

Lorsque le bois brûle, ces différents composés, pour se volatiliser, absorbent une assez grande quantité de chaleur. Cette absorption de chaleur est surtout sensible pour l'eau hygrométrique que le bois renferme en proportion assez considérable (environ 30 pour 100) et aussi pour l'eau qui prend naissance par le fait de la combustion de la substance ligneuse. Il en résulte que le bois privé de la majeure partie de ses éléments volatils, c'est-à-dire le charbon, sera susceptible de produire, en brûlant, une température notablement plus élevée que le combustible primitif. Aussi depuis longtemps a-t-on substitué le charbon au bois, comme combustible, toutes les fois qu'il s'agit de produire un degré de chaleur intense, comme dans les forges, par exemple. Ajoutons que la transformation du bois en charbon rend ce combustible plus facilement transportable en réduisant son poids et son volume dans une proportion considérable.

Les procédés employés pour opérer la carbonisation des bois peuvent se diviser en deux classes :

1° Carbonisation par combustion partielle (procédé des forêts).

2° Carbonisation en vases clos ou par distillation.

Carbonisation par combustion partielle. — Les procédés qui rentrent dans cette classe consistent à transformer le bois en charbon dans les forêts mêmes où ce bois a été abattu, afin de réduire la dépense des transports, le charbon pesant quatre ou cinq fois moins que le bois dont il provient.

Dans ces conditions, il était nécessaire de pouvoir réaliser l'opération avec les seuls matériaux qu'on trouvait sur place. C'est ainsi que l'on fut conduit à effectuer la carbonisation du bois en disposant celui-ci en tas ou en *meules*, recouvertes de terre. Ce revêtement est nécessaire, pour éviter l'arrivée d'un excès d'air au contact du bois en ignition, et pour obtenir une carbonisation régulière. Or la terre constitue un revêtement en quelque sorte malléable, pouvant se déformer suivant les progrès de la combustion. En effet, à mesure que celle-ci progresse, le volume de la meule diminue, jusqu'à ne plus représenter que les deux tiers de ce qu'il était au début; l'enveloppe de terre s'affaisse proportionnellement, tout en maintenant la meule toujours couverte.

Dans la construction de ces meules, les bois peuvent être disposés soit verticalement, soit horizontalement. Cette dernière disposition convient lorsqu'on opère dans des pays où le bois est abondant et où l'on trouve facilement des bois réguliers sur une grande longueur. Pour réduire la main-d'œuvre et les difficultés de la conduite du feu, on fut conduit à empiler simplement le bois en tas allongés et à diriger la combustion d'une extrémité à l'autre du tas dans le sens de la longueur.

Mais dans les pays où le bois est plus rare, où l'on ne transforme en charbon que les morceaux de bois irréguliers qui ne peuvent être employés à un autre

usage, on trouva plus avantageux de disposer ceux-ci verticalement et de les empiler de façon à donner aux meules la forme d'une demi-sphère ou d'un paraboloïde, forme qui fournit pour une surface extérieure donnée le plus grand volume possible. Dans ces dernières meules, que l'on appelle *meules verticales* par opposition aux premières qui ont reçu le nom de *meules horizontales*, on conduit le feu du centre à la circonférence.

L'emplacement de ces meules doit être choisi de telle façon que le transport du bois de la forêt aux meules, aussi bien que celui du charbon des meules aux lieux de consommation, soit aussi facile et aussi court que possible. Le sol sur lequel seront établies les meules doit être en outre à l'abri de l'humidité et du vent. On enlève le gazon qui le recouvre, on nivelle la surface du terrain et l'on dispose au-dessus une couche de 50 centimètres environ de terre mélangée de poussière de charbon, ou fraisil, provenant des opérations précédentes, que l'on tasse avec soin. Enfin la carbonisation marche mal par les temps de vent violent ou de pluie. Aussi doit-elle être interrompue pendant la saison pluvieuse, de sorte qu'elle ne peut s'effectuer avantageusement que pendant le printemps et l'été, de mai à octobre.

Meules verticales. — Lorsqu'on a préparé une aire circulaire, légèrement inclinée du centre vers la circonférence, comme nous l'avons indiqué précédemment, on enfonce au centre trois ou quatre pieux *a* (fig. 1) de 4 à 6 mètres de lon-

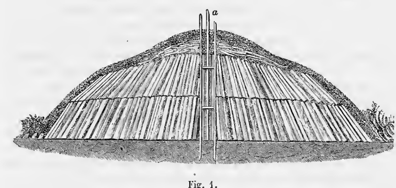


Fig. 1.

gueur, qui, entourés de branchages, constituent une sorte de cheminée de $0^m,30$ environ de diamètre. On remplit cette cheminée de matières facilement inflammables, par exemple de fumerons, morceaux de bois en partie carbonisés provenant d'opérations précédentes. Autour de la cheminée on range le bois verticalement, de façon que l'axe de chaque bûche se trouve dans un plan vertical passant par l'axe de la meule. Ces bûches doivent reposer sur le sol par leur extrémité la plus large, de façon que l'ensemble de cette première rangée offre l'apparence d'un tronc de cône ; elles doivent être aussi serrées que possible les unes contre les autres, afin d'éviter les vides. Les plus gros morceaux sont au centre, les petits à l'extérieur. Sur l'un des côtés de la meule, celui qui se trouve le mieux protégé contre le vent, on ménage au niveau du sol un canal de 15 à 20 centimètres de

eôté, qui servira à l'allumage du combustible placé dans la cheminée. Sur la première couche de bûches, on en dispose une seeonde de la même façon, et enfin par-dessus on place horizontalement de petits rondins qui achèvent de donner à la meule la forme hémisphérique. Après avoir rempli avec du petit bois les vides que pouvaient avoir laissés les bûches formant les parois extérieures, on procède au revêtement de la meule. Pour cela on la recouvre d'abord de gazon, de feuilles ou de mousse, et enfin d'une couche d'un mélange de terre argileuse et de poussier de charbon. Toutefois, pour que l'allumage se fasse bien au commencement de l'opération, il est nécessaire de ne pas faire descendre dès le début le revêtement jusqu'au niveau du sol, afin que l'air ait un libre accès à la partie inférieure. On peut obtenir ce résultat en construisant tout autour de la meule un petit mur en pierres sèches de 15 à 20 centimètres, sur lequel viendra reposer le revêtement par sa partie inférieure. Ce revêtement présente généralement vers le bas une épaisseur de 15 à 25 centimètres ; sur le haut il n'a que 8 à 10 centimètres. On lui donne de l'adhérence en le frappant fortement.

La meule étant ainsi préparée, on procède à l'allumage en introduisant, par le canal horizontal dont il a été parlé plus haut, une boule de résine enflammee à l'extrémité d'une longue tige et, lorsque les matières eombustibles qui garnissent la cheminée sont bien allumées, on ferme le canal.

L'air, arrivant par le pourtour de la meule qui ne porte pas de revêtement à sa partie inférieure, pénètre jusqu'au centre et entretient la combustion qui se propage de bas en haut. On laisse la cheminée ouverte pendant quelques heures pour que le centre de la meule s'enflamme bien, et l'on y projette de temps en temps du menu bois, afin qu'il ne se forme pas de vide au centre de la meule. Quand le feu est suffisamment actif, ce qui arrive au bout d'un temps variable avec la dimension des meules, on bouche la cheminée. La chaleur résultant de cette combustion fait perdre au bois voisin de la cheminée son eau hygrométrique, de sorte que la fumée qui se dégage est épaisse, mêlée de vapeur d'eau. Plus tard, elle devient jaune, a une saveur piquante. Une partie des vapeurs se condense dans les couches de bois encore froides qui enveloppent la zone en combustion, mais à mesure que celle-ci progresse, l'humidité est chassée de proche en proche jusqu'à ce qu'enfin, vingt-quatre heures environ après la mise en feu, elle atteigne le revêtement et rende celui-ci humide. Pendant cette période de la carbonisation, que l'on appelle la *suée*, il se forme quelquefois dans l'intérieur de la meule des mélanges détonants d'hydrocarbure et d'air, qui par leur explosion peuvent faire sauter certaines parties du revêtement et même déranger le bois. Lorsque ces accidents se produisent, il faut réparer le revêtement le plus rapidement possible. Au bout de huit à dix jours, la fumée prend une teinte plus claire, elle est plus légère et monte verticalement; en même temps, le revêtement se dessèche. Il faut alors ralentir l'arrivée de l'air, en recouvrant de terre le pied de la meule, en même temps que l'on renforce son revêtement à la partie supérieure. La carbonisation se poursuit alors, mais seulement sous l'effet de la chaleur accumulée dans l'intérieur de cette masse de eharbon incandescent qui occupe le centre de la meule. Il faut, à ce moment, surveiller attentivement la marche de l'opération. Si elle est bonne, la meule doit s'affaisser régulièrement. Lorsqu'il n'en est pas ainsi, c'est que la combustion ne se produit pas d'une façon uniforme ; il faut alors pratiquer dans le revêtement des trous ou

évents de façon à amener de l'air dans les parties de la meule qui se tassent le moins.

La carbonisation du bois se produit ainsi de proche en proche, sauf dans une zone périphérique comprise entre le sol et le revêtement extérieur. Pour terminer l'opération, il faut pratiquer des évents, espacés de 30 centimètres environ, dans la partie inférieure du revêtement, de façon que l'air ait accès dans cette partie de la meule. Ces orifices doivent être fermés dès que la fumée qui s'en échappe, d'abord blanche et épaisse, devient transparente et bleuâtre. On continue ainsi jusqu'à ce que les évents soient arrivés à la base de la meule. Si, pendant la durée de la carbonisation, le revêtement se fendillait ou s'effondrait par place, il faudrait le réparer immédiatement avec du gazon et de la terre. Enfin, lorsque l'opération est terminée, on renforce le revêtement et on laisse la meule se refroidir.

La grandeur des meules est variable suivant les pays. En France, on leur donne généralement 5 mètres de diamètre; leur volume est de 30 mètres cubes. En Thuringe, le volume est de 20 mètres cubes; dans le Hartz, de 70 mètres cubes; en Autriche, il atteint jusqu'à 200 mètres cubes.

Le volume le plus avantageux parait être de 50 à 70 mètres cubes. Plus grandes, les meules sont difficiles à conduire; plus petites, elles nécessitent une main-d'œuvre trop coûteuse.

Dans les différents pays, on ne procède pas à l'allumage de la même façon. Ainsi le feu est mis quelquefois par le haut, en jetant dans la cheminée des matières enflammées. Dans certaines localités, la cheminée ne règne pas dans toute la hauteur de la meule; elle a seulement été ménagée dans la couche supérieure de bois. Quoi qu'il en soit, la marche de l'opération n'en est pas changée; la combustion commence toujours par la partie supérieure de la meule et descend ensuite de proche en proche vers le bas.

Ebelmen a cherché à déterminer ce qui se passe pendant l'opération de la carbonisation du bois en meules. Pour cela, il a comparé la composition des gaz qui se dégagent des évents avec celle des gaz produits dans la distillation du bois en vases clos.

Lorsque la fumée est blanche et abondante, les gaz qui sortent des évents donnent à l'analyse les résultats suivants (moyenne de 5 expériences) :

Acide carbonique	26,7
Oxyde de carbone	9,7
Hydrogène	9,9
Azote	53,7
	100,0

Les produits liquides correspondant à 1 litre du gaz précédent, supposé sec, pesaient 1^{gr},03. Ces produits ont paru identiques avec ceux que donne la distillation du bois en vase clos.

Quand la fumée est claire, presque transparente et peu abondante, l'analyse des gaz puisés dans l'évent donne (moyenne de 3 expériences) :

Acide carbonique	22,6
Oxyde de carbone	5,7
Hydrogène	12,5
Azote	59,4
	100,0

Les produits liquides correspondant à 1 litre de gaz sec pesaient 0gr,531.

On voit déjà par ces analyses que l'oxygène de l'air se transforme principalement en acide carbonique; en effet, la proportion d'oxyde de carbone contenue dans ces gaz ne renferme guère que le quart ou le cinquième de l'oxygène qui correspond à l'azote dans l'air atmosphérique. Mais on peut arriver à une conclusion plus positive en comparant les résultats précédents à ceux de l'analyse des gaz obtenus dans la distillation du bois en vases clos.

Les gaz correspondant à la première période de la distillation en vases clos, c'est-à-dire à l'apparition de fumées abondantes, épaisses et piquantes, ont donné à l'analyse :

Acide carbonique	44,9
Oxyde de carbone	36,8
Hydrogène	16,8
Azote et perte	1,5
	100,0

A la fin de la distillation, quand les gaz dégagés brûlaient à l'air avec une flamme bleue, l'analyse a donné :

Acide carbonique	29,2
Oxyde de carbone	24,9
Hydrogène	44,2
Azote et perte	1,7
	100,0

L'opération pendant laquelle on a fait les deux analyses qui précèdent a donné, en charbon, 25 pour 100 du poids du bois, et ce charbon perdait encore, par une forte calcination dans un creuset fermé 9,4 pour 100 de son poids.

Supposons que l'oxygène atmosphérique, dans la carbonisation en meules, ne produise que de l'acide carbonique, et retranchons l'azote et l'acide carbonique correspondant (20,8 d'acide carbonique pour 79,2 d'azote), nous trouverons les restes suivants, qui représenteraient, dans cette hypothèse, la composition des gaz produits par la distillation du bois :

Première période. — Fumées blanches épaisses.

Acide carbonique	12,6	39,1
Oxyde de carbone	9,7	30,0
Hydrogène	9,9	30,9
	32,2	100,0

Deuxième période. — Fumées claires.

Acide carbonique	7,0	28
Oxyde de carbone	5,7	22,8
Hydrogène	12,5	49,2
	25,0	100,0

On voit que, dans cette supposition faite par Ebelmen, les gaz provenant de la carbonisation dans les meules auraient une composition semblable à celle des gaz produits dans la distillation en vases clos, surtout vers la fin de l'opération. Dans les deux cas, la proportion d'acide carbonique et celle de l'oxyde de carbone vont en diminuant du commencement à la fin de l'opération, tandis que l'hydrogène augmente.

L'apparition des fumées blanches et transparentes, dans la carbonisation en meules, indique que les gaz ne traversent plus qu'un combustible de composition uniforme, et les résultats des analyses doivent être alors comparables à ceux que donne l'analyse vers la fin de l'opération en vases clos. Les gaz qui accompagnent les fumées blanches et épaisses dans la carbonisation en meules correspondent au contraire à des combustibles de composition variable, et ne peuvent pas être exactement comparables aux premiers produits de la distillation du bois en vases clos.

En partant de ces résultats, Ebelmen est arrivé aux deux conclusions suivantes, qu'il a regardées comme fondamentales pour la théorie de l'opération :

1° L'oxygène de l'air qui pénètre dans la meule par les évents d'admission se change complètement en acide carbonique, sans mélange d'oxyde de carbone.

2° L'oxygène de l'air se porte tout entier sur le charbon déjà formé, et son action est nulle sur les produits de la distillation du bois, en sorte que celle-ci s'opère de la même manière qu'en vases clos.

Ces deux principes, une fois posés, permettent d'apprécier assez nettement ce qui se passe dans la carbonisation du bois en meules. Nous avons vu qu'on allume la meule par le centre, et que l'on conduit l'opération en perçant des évents du sommet à la base de la meule. La carbonisation s'opère donc de haut en bas et du centre à la circonférence. La surface de séparation entre le charbon déjà formé et le bois paraît être celle d'un tronc de cône renversé, dont l'axe serait celui de la meule et dont l'angle irait constamment en s'ouvrant, à mesure que la carbonisation s'approche de la base de la meule. Cette manière de concevoir la marche de l'opération paraît s'accorder en tous points avec les résultats des analyses, ainsi qu'avec les circonstances que présente la carbonisation. Pour concevoir, en effet, que l'oxygène se change seulement en acide carbonique, il faut admettre que la combustion du charbon s'opère constamment à la surface de séparation entre le charbon produit et le bois incomplètement distillé.

Le refroidissement dû à l'absorption de chaleur latente produite par la distillation du bois s'oppose à ce que l'acide carbonique, premier produit de la combustion, puisse se changer en oxyde de carbone, car on sait que cette transformation a besoin, pour s'effectuer, d'une température élevée.

Une expérience directe, faite par Ebelmen à Audincourt, a confirmé très nettement les conclusions qui précèdent. Une meule de 30 stères de bois a été montée d'après le procédé ordinaire, et l'on a conduit la carbonisation comme d'habitude. Quand les évents de dégagement furent arrivés à la moitié de la hauteur de la meule, on a découvert la meule et l'on en a enlevé une moitié afin de voir la répartition du bois et du charbon dans la meule vers le milieu de l'opération (fig. 2).

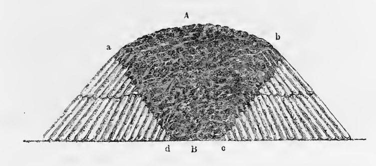


Fig. 2.

Toute la partie centrale de la meule *abcd* était convertie en charbon entassé inégalement. La partie extérieure, qui serait engendrée par la révolution du triangle *bce* autour de l'axe de la meule, était formée par du bois qui n'avait pas même éprouvé un commencement de dessiccation. Les lignes *ad* et *cb* marquaient très nettement la séparation entre le bois et le charbon. On voyait des bûches charbonnées à leur extrémité, et ayant conservé leur état naturel à un décimètre de la partie complètement carbonisée.

On se représente facilement la marche de la carbonisation en concevant que la génératrice *b c* du tronc de cône, qui marque la séparation entre le bois et le charbon, aille en s'inclinant de plus en plus sur le plan horizontal jusqu'à ce qu'elle se confonde avec lui.

Meules horizontales. — Les meules horizontales ont la forme d'un rectangle allongé, dont le petit côté a pour longueur celle des bûches et dont l'autre a une dimension deux à trois fois plus grande (fig. 3 et 4). En Autriche, les bûches ont 3^{m},30 de longueur ; en Suède, 6^{m},50.

L'aire sur laquelle on construit la meule doit être inclinée, le grand côté de la meule étant disposé suivant cette inclinaison. La différence de niveau des deux extrémités est d'environ 0^{m},30. On dispose d'abord sur le sol, suivant la longueur de la meule, 3 pièces de bois de 15 à 20 centimètres de diamètre, *a*, sur lesquelles reposent les bûches, afin que celles-ci ne soient pas en contact immédiat avec le sol. On enfonce en outre, du côté du pied de la meule, deux pieux *b*, qui serviront à maintenir les bûches. Celles-ci sont ensuite empilées parallèlement au petit côté de la base sur une hauteur de 1^{m},80 à 2 mètres à l'avant et de 3 mètres à l'arrière. Dans cette partie de la meule, on lui donne moins de compacité en disposant

quelques bûches *g* dans une direction perpendiculaire. Les bois les plus gros sont placés vers le milieu du tas.

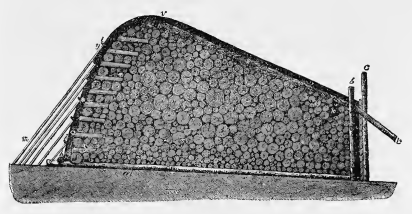


Fig. 3.

Du côté du pied, on a ménagé, à $0^m,50$ environ du sommet de la meule, un vide *k* de 15 à 20 centimètres de côté, que l'on remplit de branches mortes ou de matières combustibles qui serviront pour l'allumage. Enfin, après avoir rempli les vides qu'a pu laisser le bois avec des branchages, on établit le revêtement en terre.



Fig. 4.

Dans les parties inclinées, comme à l'arrière de la meule, où ce revêtement ne pourrait se maintenir, on le soutient avec des pièces de bois *h*, *i*, *y*, *m*. Sur les côtés et à l'avant, dont les parois sont verticales, il faut disposer à 15 centimètres environ des parois de la meule une sorte de cloison en planches, soutenue par des piquets

d, *d* et des contre-fiches *d*, *d'*, et remplir l'intervalle avec dc la terre. Toutefois ces eloisons ne descendent pas jusqu'au sol; elles laissent vers le bas un vide qui est bouché seulement avec de la terre. De plus elles portent une ouverture eorrespondant au trou d'allumage *k*.

C'est par là que l'on met le feu à la meule, et il faut faire en sorte quc l'inflammation se produise sur toute la largeur du eanal *k*, dont on bouehe alors les deux extrémités.

L'opération doit être ensuite conduite de façon que la eombustion s'étende à toute la partie antérieure de la meule. On arrive à ee résultat en ouvrant des évents dans cette paroi d'abord à une eertaine distance au-dessous du eanal *k*, puis de plus en plus bas jusqu'à la parte inférieure, évents que l'on bouehé dès que le feu y est parvenu. Il faut de quatre à six jours pour que eette partie antérieure de la meule soit en ignition. Le feu se propage alors vers l'arrière par eouches parallèles et inelinées, la eombustion des bûches supérieures étant toujours en avancc sur celle des eouches inférieures. Pour assurer la marehe régulière de la combustion dans eette direetion, on ouvre des évents de mètre en mètre sur les parois latérales, que l'on bouehe dès qu'ils laissent dégager une fumée légère et bleuâtre. On aehève la eombustion dans la partie postérieurc de la meule en ouvrant de même des évents dans la partie *l h*, en faisant deseendre eeux-ci suceessivement depuis le haut jusqu'au niveau du sol. Comme pour les meules verticales, à mesure que l'opération avance, on renforee le revêtement dans les parties où la earbonisation est achevée, de façon à diminuer la perméabilité. Suivant la grandeur des meules, leur carbonisation dure depuis deux et trois semaines jusqu'à einq et plus.

Les meules horizontales présentent sur les meules vcrtieales eet avantage que leur eonduite est plus simple et exige moins de surveillance; elles donnent aussi moins de fumerons. Mais elles ont l'ineonvénicnt d'exiger dcs bois réguliers et de fournir un eharbon plus léger que celui que l'on obtient avec les meules vertieales.

Lorsque la carbonisation d'une meule est terminée, on la laisse se refroidir pendant quelques jours, mais ce refroidissement est très lent par suite de la masse de eharbon embrasé que eontient la meule et aussi par suite du défaut d'imperméabilité du revêtement, qui laisse toujours filtrer une petite quantité d'air, capable de maintenir une combustion lente du eharbon. On ne peut done pas attendre que celui-ei s'éteigne de lui-même.

On ouvre la meule en un point seulement, on cn rctire le charbon encore rouge avee un eroehet en fer et on l'éteint dans l'eau immédiatement. Il ne reste plus alors qu'à assortir les morceaux de eharbon; on sépare les menus fragments des gros moreeaux qui ont une valeur plus considérable, et on met à part les fumerons ou charbons incomplètement carbonisés, qui généralement sont employés comme bois de garnissage dans une opération ultérieure.

Rendement en charbon des meules. — Pour le rendement en volume, Uhr a trouvé les chiffres suivants :

	Minimum	Maximum	Moyenne.
Pour 28 meules horizontalcs.	59,5	78,5	70,5
Pour 11 meules vertieales.	50,5	75,1	62,8

Le rendement varie avec la nature du bois. Pour des meules verticales, Beschorn a trouvé :

Pour le chêne	71,8
Idem	74,3
Pour le hêtre rouge	73,0
Pour le bouleau	68,5
Pour le charme	57,2
Pour le pin	63,6

En ce qui concerne le rendement en poids, Beschorn a obtenu les nombres suivants avec des meules verticales :

Chêne	21,3 à 23,4 pour 100 de bois		
Hêtre rouge	22,7	—	—
Bouleau	20,9	—	—
Charme	20,6	—	—
Pin	25,0	—	—

Les résultats ci-dessous résultent de déterminations faites par Berthier et Juncker sur des meules verticales :

Hêtre rouge et chêne de 2 ans	24,2 pour 100 de bois	
— de 8 mois	23,8	—
Chêne de 2 ans écorcé	25,9	—
— de 3 mois non écorcé	22,6	—
— de 8 mois écorcé	21.9	—
— — non écorcé	19,5	—
Chêne d'abatage récent non écorcé	13,8	—
Hêtre rouge de 3 mois, non écorcé	20,1	—
— — écorcé	24,2	—
— récemment abattu, non écorcé	13,1	—

Avec des meules horizontales, Uhr a obtenu, pour le rendement en poids, des nombres variant de 24,5 à 28,5.

Le tableau suivant, qui contient les résultats de plusieurs expériences de Beschorn, donne des indications sur le rapport qui existe entre la durée de la carbonisation et la quantité du charbon de bois produite.

DURÉE de la CARBONISATION	POIDS EN KILOGRAMMES	
	DU BOIS EMPLOYÉ POUR LA MEULE	DU CHARBON PRODUIT
13 jours	31 785	6770
14 —	31 537	7394
12 —	22 267	5045
14 —	22 291	4669
11 —	24 517	5044
19 —	25 120	6287

D'après Berthier, le poids d'un mètre cube de charbon de chêne et de hêtre du commerce varie de 240 à 250 kilogrammes; celui de bouleau, de 220 à 230 kilogrammes, et celui de pin, de 200 à 210 kilogrammes. Dans les Vosges, celui de chêne et de hêtre, rondinage, est de 228 kilogrammes, et celui de sapin, 155 kilogrammes. Dans les usines métallurgiques, on admet généralement qu'un mètre cube de charbon en fragments de grosseur ordinaire pèse, pour le chêne et le hêtre, de 200 à 240 kilogrammes; pour le pin et le mélèze, de 160 à 180 kilogrammes, et pour le sapin et le châtaignier domestique, de 130 à 150 kilogrammes.

Les valeurs relatives des divers charbons, sous le même volume, sont proportionnelles aux poids spécifiques de ces charbons.

D'après M. Sauvage, on peut admettre que la puissance calorifique du charbon de bois fabriqué dans les forêts est les 0,85 de celle du carbone pur, soit $8080 \times 0,85 = 6868$.

Péclet admet 7000 pour la puissance calorifique des charbons de bois ordinaires, contenant 6 à 7 pour 100 d'eau et 6 à 7 de cendres. Suivant cet expérimentateur, le pouvoir rayonnant du charbon de bois est à peu près moitié de sa chaleur spécifique, c'est-à-dire que la quantité de chaleur qu'il rayonne est à peu près égale à la chaleur qu'entraîne la fumée, ou moitié de la chaleur totale développée.

Modifications apportées au procédé des meules. — Dans la méthode de carbonisation du bois dont nous venons de parler, les produits qui prennent naissance pendant la distillation de cette substance, notamment le vinaigre de bois et le goudron, sont complètement perdus.

On a souvent cherché à recueillir, au moins en partie, ces produits. Ainsi on a proposé d'employer, pour constituer le revêtement des meules, de la chaux éteinte, laquelle retiendrait l'acide acétique en formant de l'acétate de chaux, que l'on pourrait ensuite recueillir en traitant cette chaux par l'eau. D'autres ont remplacé le revêtement ordinaire en terre par des cloisons métalliques mobiles dont on mastique avec soin les assemblages; ces cloisons sont traversées par des tuyaux conduisant les produits volatils dans un récipient où ils se condensent.

Ces dispositions ont l'inconvénient de faire perdre au revêtement sa porosité et par suite de rendre très incertaine la marche de la carbonisation.

On peut cependant, sans nuire à la carbonisation, recueillir une proportion assez considérable des goudrons et des acides qui se forment pendant l'opération, en donnant la forme d'une cuvette à l'aire sur laquelle la meule devra être construite et que l'on aura soin de rendre bien étanche. Du centre de cette cuvette part un canal qui vient aboutir dans un bassin placé en contre-bas et sur le côté de la meule (fig. 5).

C'est à l'aide d'une disposition de ce genre que dans les environs de Bordeaux, on recueille le goudron que fournit la carbonisation des sapins des landes.

On construit à une certaine hauteur au-dessus du sol une sorte de cuvette en maçonnerie concave ou en forme d'entonnoir, ayant environ 4 mètres de diamètre. Du point le plus bas part un tuyau qui descend d'abord verticalement, puis se recourbe horizontalement pour aboutir au réservoir à goudron. Ce tuyau peut être bouché à son extrémité par un morceau de bois formant tampon. Sur l'aire ainsi

disposée, on construit une meule verticale avec des morceaux de bois de sapin, qui ont été refendus de façon à ne présenter que quelques centimètres d'épaisseur, et

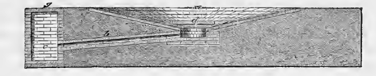


Fig. 5.

bien desséchés, car il est essentiel, pour la qualité du goudron, de n'employer que du bois aussi sec que possible ; ensuite la meule est garnie d'un revêtement en fraisil. L'allumage et la conduite du feu s'effectuent comme nous l'avons vu précédemment. Lorsque la meule est à demi carbonisée, on examine la qualité du goudron qui s'est rassemblé au fond de la cuvette ; tant que ce goudron présente un aspect résineux et une teinte rouge, on ne doit pas le laisser s'écouler ; il faut lui faire subir une véritable cuisson, qui lui enlève son eau, le concentre et développe le goût empyreumatique qu'il doit posséder. Au bout de 60 à 70 heures, cette cuisson est complète ; à partir de ce moment, on fait écouler le goudron trois ou quatre fois par 24 heures. Lorsqu'il cesse de se produire, on active le feu pour achever la carbonisation du bois. On obtient ainsi en goudron 20 pour 100 du poids du bois et par 100 kilogrammes de bois 2 hectolitres de charbon, petit, mais de bonne qualité.

C'est encore par une méthode analogue que l'on traite de grandes quantités de bois résineux dans l'intérieur de la Russie, en Wolhynie et en Polhynie, uniquement au point de vue de la production du goudron. Les meules sont construites sur une aire, disposée à une certaine hauteur au-dessus du sol, formée d'une couche épaisse d'argile présentant une inclinaison vers le centre. Les bûches ayant 10 à

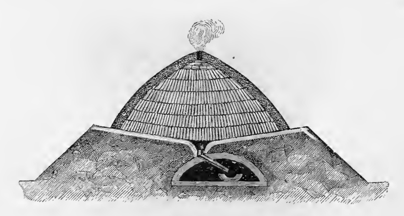


Fig. 6.

12 centimètres d'épaisseur sont empilées verticalement, de manière à former 6 à 7 couches superposées. La meule a de 20 à 30 mètres de diamètre et contient de 1000 à 2000 mètres cubes de bois. Le revêtement est formé d'un mélange de paille et de sable. On allume le bois par 40 ou 50 évents pratiqués à la partie inférieure de la meule et que l'on bouche dès que le feu a atteint la partie supérieure; en même temps on s'attache à maintenir le revêtement en bon état. Les matières goudronneuses liquides qui prennent naissance se réunissent à la partie inférieure; au bout de 10 à 12 jours, on commence à faire écouler le goudron par un tuyau en bois de 15 centimètres qui le conduit dans une cavité inférieure (fig. 6); on continue ensuite à le recueillir chaque matin. L'opération dure de 3 à 4 semaines. On obtient ainsi une barrique de goudron par 25 mètres cubes de bois, mais la quantité de charbon que l'on recueille est très faible par suite de la trop grande perméabilité du revêtement de la meule.

Le goudron de bois est employé en quantités considérables par la marine pour préserver de l'action de l'eau et rendre imperméable la coque des navires, des canots, etc., et pour enduire les voiles, les cordages et les mâts. Il sert également en médecine dans les affections pulmonaires et cutanées.

Carbonisation en fours. — Les fours peuvent être considérés comme des meules à revêtement fixe, dans lesquelles, de même que dans les meules ordinaires, la température de carbonisation est obtenue par la combustion d'une portion du bois à carboniser en présence d'une quantité d'air limitée. Ils présentent sur ces dernières cet avantage que les produits de la distillation peuvent être condensés plus facilement et plus complètement, mais ils fournissent moins de charbon, et surtout la qualité de ce charbon est inférieure.

Les fours à carbonisation affectent des formes très variées; nous en indiquerons quelques-unes.

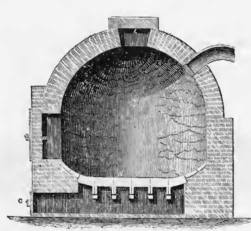


Fig. 7.

Le four (fig. 7) est disposé de telle sorte que l'air nécessaire à la combustion arrive par la grille *d*. Le bois est introduit par les ouvertures *a* et *b*; les produits

volatils sont amenés aux condenseurs par le tuyau *f*. Quand le four est chargé, on allume le feu sur la grille, on ferme la porte *a* et on laisse la porte *b* ouverte. Lorsque le bois est bien allumé à la partie inférieure, on ferme la porte *c* et l'ouverture *b;* mais comme ces fermetures ne sont pas hermétiques, il s'introduit suffisamment d'air pour que la combustion continue. Plus tard, lorsque la combustion a atteint les différentes parties de la masse et que les parois du four sont à une température élevée, on bouche toutes les fissures afin que la carbonisation s'achève seulement aux dépens de la chaleur du four.

Les fig. 8 et 9 représentent un four en usage à Mexico. C'est une chambre en maçonnerie réfractaire de 14 mètres de long, 12 mètres de large et $5^{m},40$ de haut, consolidée par une charpente extérieure en bois *aa*.

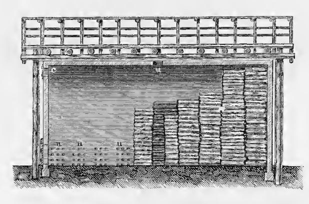


Fig. 8.

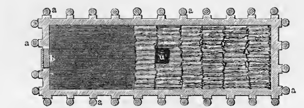


Fig. 9.

Sur l'un des petits côtés, on a ménagé une porte *b* pour charger le four et retirer le charbon. Une ouverture supérieure *u* sert de cheminée; à la partie inférieure se trouvent des ouvertures *uu* servant d'évents. Les bûches sont rangées dans le four de manière à le remplir entièrement, sauf au milieu, où l'on ménage une sorte de cheminée correspondant à l'ouverture *u*, que l'on remplit de matières facilement inflammables. C'est par l'ouverture *b* que se fait l'allumage ; dès que le feu a gagné une assez grande partie de la masse du bois, on ferme la porte *b* et l'ouverture *u ;* la combustion continue grâce à l'air pénétrant par les évents *u* de l'un des côtés du four, les produits de la combustion s'échappant par les évents

placés de l'autre côté. Dès que la fumée qui sort par les ouvertures devient bleue, il faut fermer tous les évents.

Carbonisation en vases clos. — Les différents modes de carbonisation dont nous venons de parler comportent l'admission de l'air au milieu de la masse de bois à traiter, d'où il résulte que la chaleur nécessaire à l'opération est produite aux dépens d'une partie de la substance à carboniser.

Dans les systèmes qu'il nous reste à décrire, il n'en est plus de même ; la carbonisation du bois s'effectue à l'aide d'une chaleur extérieure.

Tels sont les fours de Reichenbach, dans lesquels la carbonisation est produite par la chaleur apportée par des tuyaux en fer circulant au milieu de la masse du bois et communiquant avec un foyer placé à l'extérieur du four; la carbonisation s'opère alors sur toute la surface des tuyaux. L'intérieur du four est mis en communication par un tuyau avec les appareils à condensation. Cette disposition entraîne une dépense assez considérable de combustible, tenant à ce que le foyer n'est pas en contact direct avec le bois à carboniser.

Au lieu de faire passer l'air chaud du foyer extérieur à travers des tubes de fer, on peut le faire passer directement sur le bois, mais il faut que cet air chaud soit complètement privé d'oxygène. De cette façon on obtient une carbonisation plus rapide et plus uniforme. Ce système, qui tient le milieu entre les appareils clo proprement dits et les fours, repose sur ce principe qu'une flamme non oxydante ne peut brûler le bois, mais qu'elle peut le décomposer. C'est d'après ce principe qu'est construit le four suédois, imaginé par Schwartz, dont la fig. 10 montre une section verticale.

b est la chambre en maçonnerie, ayant 9 mètres cubes de capacité, où s'effectue la carbonisation ; l'air chaud nécessaire pour celle-ci pénètre dans la chambre par les ouvertures *cc*. Les liquides condensés sur la sole inclinée passent par des tuyaux traversant la maçonnerie *a* et par les siphons *e*, *e* dans les tonneaux à goudron *f*, *f*; les vapeurs des liquides volatils (vinaigre de bois, esprit de bois, etc.) se rendent par les tubes *g*, *g* dans les condensateurs *h*, *h*, qui sont en communication avec une cheminée élevée *i*; celle-ci est destinée à produire le tirage que nécessite l'appareil. Une ouverture latérale, fermée pendant l'opération, sert à l'introduction du bois.

La fig. 11 représente un appareil également à foyer extérieur, mais de dimensions plus réduites et d'un usage plus général. A est un cylindre en tôle, muni d'un couvercle *b*, contenant le bois à carboniser. La chaleur nécessaire à la carbonisation est produite par un foyer placé au-dessous *g*, et les produits de la combustion circulent autour du cylindre par les carneaux *k*, avant d'arriver à la cheminée *l*. Les produits de la distillation du bois passent, en sortant du cylindre, par le tuyau *c*, d'abord dans le réfrigérant *d*, puis dans le condenseur *e*. Le goudron et les eaux goudronneuses se condensent et coulent en *o*. Quant aux produits gazeux, ils sont ramenés par le tuyau *f* au-dessus de la grille *g* et y sont brûlés. Ces produits gazeux développent une chaleur suffisante pour achever seuls la carbonisation.

Ces appareils donnent un rendement assez élevé, 25 à 27 pour 100 de charbon, 8 à 10 pour 100 de goudron, 58 à 60 pour 100 d'eau acidulée marquant 1,027 de

densité. Malheureusement, on est obligé de donner au cylindre A des dimensions assez faibles à cause du peu de conductibilité du charbon, qui empêcherait la chaleur d'arriver jusqu'au milieu de la masse du bois.

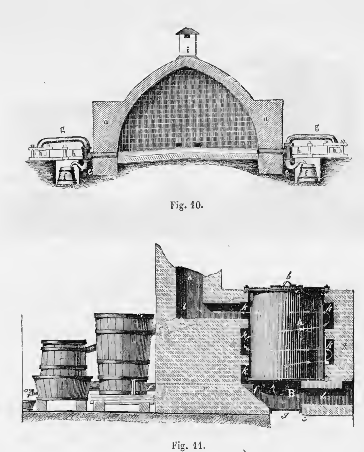


Fig. 10.

Fig. 11.

Depuis 1855, on emploie en Russie des appareils de distillation en usage en Suède ; semblables au précédent, analogues aussi à ceux dont on se sert pour la distillation du bois en vue de la fabrication de l'acide pyroligneux, et qui seront décrits à propos de cet acide. Ils se composent d'une chaudière A (fig. 12) en tôle de 6 à 8 millimètres d'épaisseur, d'une capacité d'environ 8 mètres cubes, que l'on charge par le trou d'homme *g*. On allume le feu en *a*, et les gaz de la combustion, en circulant dans les carneaux *b,b*, entourent la chaudière et la chauffent. Pour porter rapidement le bois à distiller à la température de 100°, on introduit par le tube *e* dans la chaudière un courant de vapeur. Le goudron liquide, qui se rassemble dans la chaudière, coule par le tube *c* dans le récipient B, tandis que les vapeurs de goudron passent par *d* dans le réfrigérant B', où une partie se condense et revient en B par le tuyau *h;* le reste passe par *f* dans le serpentin *c*. Les gaz

non condensables sont ramenés sous la chaudière et brûlés. Comme on traite dans ces appareils des bois résineux, indépendamment du goudron, on obtient aussi au commencement de la distillation de l'essence de térébenthine et du vinaigre de bois. Lorsque la distillation est achevée, on refroidit rapidement le charbon, en injectant de la vapeur d'eau dans le cylindre, et on le retire par l'ouverture *a*.

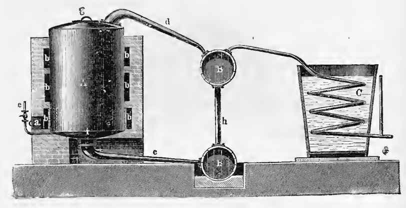


Fig. 12.

Ces appareils, dits *appareils fixes*, parce que le cylindre dans lequel on chauffe le bois est maçonné dans le fourneau, présentent l'inconvénient de ne pouvoir fonctionner que d'une manière intermittente. Il faut éteindre le feu après chaque opération pour pouvoir enlever le charbon et charger à nouveau le cylindre, ce qui est préjudiciable au point de vue de l'économie de combustible et de la quantité de bois distillé.

On préfère généralement aujourd'hui employer des *appareils mobiles*, dans lesquels le cylindre peut être facilement retiré du four. Dès qu'une opération est terminée, on enlève le cylindre du fourneau au moyen d'une grue, pour le mettre à refroidir, et on descend aussitôt à la place un autre cylindre, rempli de bois à l'avance pour recommencer une distillation. L'opération se fait ainsi sans interruption.

L'appareil généralement employé en France se compose d'une cuve tronconique en maçonnerie de briques réfractaires, couronnée à la partie supérieure par une forte cornière en fer ; le fond de cette cuve est formé par une voûte, sous laquelle se trouve le foyer, dont les flammes viennent pénétrer autour de la cuve par des conduits réservés dans la maçonnerie. Le cylindre en tôle renfermant le bois à carboniser pénètre dans le four de telle façon qu'il excède la maçonnerie d'environ $0^m,50$. Une cornière rivée sur le cylindre vient s'appliquer sur le couronnement de la cuve en maçonnerie et ferme ainsi le four. La flamme chauffe la voûte en briques, puis le cylindre latéralement, et les produits de la combustion s'échappent ensuite par un carneau placé en haut du four pour se rendre dans une cheminée. Les produits de la distillation du bois s'échappent par un ajutage placé au milieu du couvercle, pour se rendre dans un réfrigérant où les vapeurs se condensent.

La carbonisation en vases clos est pratiquée dans l'industrie en vue d'utiliser les

produits volatils ; le charbon n'est alors qu'un produit accessoire; il a d'ailleurs une valeur moindre que le charbon préparé par le procédé des meules et ne peut servir à tous les mêmes usages.

Le plus souvent les produits de la distillation que l'on a en vue d'obtenir sont l'acide acétique, l'esprit de bois et le goudron. On peut cependant retirer du bois un gaz propre à l'éclairage.

C'est Lebon qui, le premier, prépara en 1799 du gaz d'éclairage avec le bois et construisit une thermolampe qui bientôt fut abandonnée à cause du faible pouvoir éclairant du gaz qu'on y brûlait.

En 1869, Pettenkofer reprit les expériences de Lebon relatives à la fabrication du gaz au bois. Il constata qu'à la température nécessaire pour la carbonisation du bois il ne se produit que des gaz qui sont impropres à l'éclairage, parce qu'ils ne contiennent pas d'hydrocarbures riches, mais que si, lors de la carbonisation, on élève au rouge-cerise la température des produits qui se dégagent, il se forme une grande quantité de gaz riches en hydrocarbures provenant de la décomposition des vapeurs condensables. Le mélange gazeux ainsi obtenu est, après purification, plus éclairant que le gaz de houille.

La nature du bois n'a qu'une influence très faible sur la quantité et la qualité du gaz fourni par sa distillation. Mais il est nécessaire que le bois soit aussi sec que possible; lorsque celui-ci contient de l'eau hygrométrique, il se forme beaucoup d'oxyde de carbone et d'hydrogène qui diminuent considérablement le pouvoir éclairant du gaz. Pour dessécher aussi bien que possible le bois qui doit être distillé, on utilise les chaleurs perdues des fours : derrière ceux-ci, on dispose une chambre en maçonnerie dont le sol est formé de plaques de fonte sous lesquelles circulent les produits de la combustion des fours avant de se rendre à la cheminée. Le bois est entassé dans cette chambre et y séjourne pendant 24 heures environ.

La distillation s'effectue dans des cornues en fonte ayant la forme de celles en usage pour la houille. La charge est de 50 kilogrammes de bois desséché. Une cornue peut produire 200 à 240 mètres cubes de gaz par 24 heures. La durée d'une opération est d'une heure et demie : la moitié environ du volume gazeux que peut fournir le bois est produite pendant la première demi-heure de la distillation. Lorsque l'opération est terminée, on ouvre les cornues et on fait tomber le charbon dans des étouffoirs en tôle.

Au sortir des cornues, les produits gazeux passent dans un barillet, puis de là dans des appareils réfrigérants. Ces produits étant acides par suite de la présence de l'acide acétique, il est nécessaire de faire en cuivre les parties refroidies des appareils réfrigérants, qui seraient rapidement corrodées si elles étaient en tôle ou même en fonte. Dans le barillet se condensent le goudron et l'acide pyroligneux, qui s'écoulent d'une manière constante. Les produits gazeux sortant des réfrigérants traversent des laveurs analogues à ceux employés pour le gaz de houille, puis des épurateurs chargés avec de la chaux éteinte, mélangée avec des matières légères capables de la diviser, telles que de la tannée, de la mousse, de la sciure de bois. On compte qu'il faut employer de 100 à 110 kilogrammes de chaux pour épurer 100 mètres cubes de gaz, sur 10 mètres carrés de claies. La chaux retient en même temps que l'acide carbonique, de l'acide acétique qui a échappé à la condensation et des phénols.

Le gaz au bois est un mélange d'oxyde de carbone, d'hydrogène et de formène rendu éclairant par des hydrocarbures lourds, tels que l'acétylène, l'éthylène, le propylène, la benzine, le toluène, le xylène, etc. La densité de ce gaz varie entre 0,6 et 0,7 ; elle est donc plus considérable que celle du gaz de houille. Il en résulte que, pour brûler avantageusement le gaz au bois, il faut des orifices d'écoulement plus larges que pour le gaz de houille. Sous une pression de 2 à 3 millimètres d'eau, les becs papillon, qui donnent les meilleurs résultats pour le gaz au bois, doivent avoir $0^{mm},9$ de largeur.

Le gaz au bois est exempt de produits sulfurés. Le bois fournit à poids égal beaucoup plus de gaz que la houille, et cela dans un temps beaucoup plus court. Il s'ensuit que les appareils pour une même production de gaz sont beaucoup moins importants et exigent moins de place que pour le gaz de houille. La fabrication du gaz au bois sera donc plus avantageuse que celle du gaz de la houille toutes les fois que le bois coûtera moins cher que la houille; seulement il faut faire entrer en compte la chaux nécessaire à l'opération, dont on doit consommer de grandes quantités.

Comme produits secondaires, nous avons les goudrons, qui représentent environ 2 pour 100 du bois employé, et qui peuvent être employés pour enduits ou pour faire des agglomérés avec des menus charbons; les eaux acides, saturées par la chaux éteinte, donnent du pyrolignite de chaux : 100 parties de bois donnent 50 à 75 pour 100 d'acétate de chaux brut sec. Enfin le charbon, qui est d'une combustion facile et prompte, convient très bien pour les usages domestiques.

CHARBON ROUX.

Le charbon roux est un produit de couleur brun rougeâtre que l'on obtient lorsqu'on soumet le bois à une température d'environ 300°. Le charbon, qui représente environ 42,7 pour 100 du poids du bois employé à sa préparation et qui renferme à peu près 9 pour 100 d'éléments volatils, possède des propriétés spéciales qui le rendent apte à certaines applications, notamment à la fabrication de la poudre. Mais il est fort difficile de produire en grand des charbons roux d'une composition donnée et d'une qualité uniforme.

Pour obtenir du charbon roux dans les poudreries, on a chauffé le bois dans des cylindres en fonte semblables à ceux que l'on emploie pour la fabrication du gaz de l'éclairage. L'un des fonds de ces cylindres porte 4 tubes en fer, pénétrant dans l'intérieur de la cornue, fermés à l'extrémité qui plonge dans le cylindre et munis à leur autre extrémité d'un tube abducteur. Dans ces tubes on a introduit des baguettes du même bois que celui qui est soumis à la calcination. La distillation doit être conduite lentement ; ce n'est qu'au bout de 4 à 5 heures que celle-ci doit commencer, et la température ne doit jamais atteindre le rouge. La marche de l'opération est indiquée par le dégagement des produits volatils qui s'échappent des tubes de fer. Lorsque tout dégagement cesse, on ferme les registres et on ne décharge les cylindres que le lendemain.

M. Violette, commissaire des poudres et salpêtres, a indiqué, en 1848, un procédé qui permet d'obtenir le charbon roux d'une manière beaucoup plus commode et

plus sûre. Il consiste à produire la carbonisation au moyen de la vapeur d'eau surchauffée.

La vapeur est fournie par un générateur ordinaire; elle passe dans un serpentin contourné en hélice; elle en sort à une température déterminée, 300° par exemple; elle enveloppe un cylindre horizontal qui renferme le bois, pénètre dans ce cylindre, opère la carbonisation du bois et sort enfin du cylindre chargée des produits de la distillation. La vapeur n'agit donc pas seulement par la chaleur qu'elle apporte, mais elle doit encore chasser et entraîner les substances volatiles engendrées pendant la distillation du bois. Ce double rôle est tellement vrai, qu'à une tension trop faible, la vapeur n'expulse plus le goudron et produit un charbon verni, c'est-à-dire couvert d'un enduit brillant qui nuit essentiellement à sa qualité et le fait rejeter de la fabrication des poudres de qualités supérieures. Il faut que la pression de la vapeur soit au moins d'une $\frac{1}{2}$ atmosphère ou de 1 atmosphère au-dessus de la pression atmosphérique pour que l'opération marche convenablement.

La moyenne des rendements obtenus par ces appareils a été trouvée de 42,72 pour 100 de bois.

CHARBON DE PARIS.

M. Popelin-Ducarre, en 1846, a trouvé le moyen d'utiliser les poussiers de charbon de bois, de houille et de coke, ainsi que le charbon que donnent les petites branches, les bruyères, toutes les plantes inutiles des forêts, le tan épuisé, etc. Ce charbon est produit dans des fours en briques, revêtus d'une forte maçonnerie, analogues à de petits fours à chaux. 500 kilogrammes de débris végétaux sont jetés par l'ouverture supérieure; quand la calcination est terminée, ce que l'on reconnaît quand les fumées sont remplacées par une flamme bleue, il faut fermer le haut du four; le charbon est alors retiré par une porte ménagée à la partie inférieure et reçu dans des étouffoirs. Un seul four peut produire journellement 450 kilogrammes de charbon menu pour 1500 kilogrammes de débris employés, soit 30 pour 100.

Ce charbon réduit en poudre ou le poussier qui se forme naturellement pendant les manipulations auxquelles donne lieu le charbon de bois ordinaire, est mélangé à du goudron de houille dans la proportion de 50 kilogrammes de goudron pour 100 kilogrammes de charbon. Ce mélange est moulé sous une forte pression en petits cylindres de $0^m,10$ de longueur sur $0^m,03$ de diamètre, et pour faire prendre une grande dureté à ces cylindres, on les soumet à une haute température dans des caisses ou cornues rectangulaires en briques chauffées fortement dans un four continu qui rappelle ceux des usines à gaz.

Le charbon de Paris s'embrase assez facilement, et, une fois allumé, il continue à brûler lentement à l'air jusqu'à ce qu'il soit entièrement consumé, sans produire ni flamme ni fumée, ce qui le rend très convenable pour les usages domestiques. Il laisse de 15 à 20 pour 100 de cendres, et il s'en recouvre rapidement d'une couche pendant sa combustion.

Ce charbon est assez dur et peut supporter des transports sans faire beaucoup de poussier.

NOIR DE FUMÉE

Le noir de fumée était autrefois fabriqué en brûlant de la résine, pour obtenir les qualités fines, et de la houille pour les sortes ordinaires. Mais depuis l'existence de l'éclairage au gaz, les goudrons de houille et les produits provenant de leur distillation fournissent la plus grande partie des noirs de fumée employés dans l'industrie. Enfin la découverte de puissantes sources d'huile de schiste et de pétrole est venue augmenter le nombre des produits donnant industriellement par leur combustion du noir de fumée.

Les anciens fabricants opéraient d'une manière aussi simple que primitive. Dans de grandes chambres en bois ou en maçonnerie on introduisait un vase rempli de résine qu'on allumait et qu'on laissait brûler jusqu'à extinction. Des ouvertures pratiquées à la base et à la toiture de l'édifice servaient à introduire la quantité d'air nécessaire à la combustion. Pour faciliter le dépôt du noir, on garnissait l'intérieur de ces chambres de peaux de mouton avec leur laine, ou d'étoffes grossières. Les peaux de mouton et les étoffes étaient disposées de façon qu'un homme pût s'introduire entre elles et la muraille pour faire tomber le noir au moyen d'un battage.

Lorsqu'on jugeait suffisante la quantité de noir déposée dans les chambres, on arrêtait la combustion, on attendait que la fumée fût dissipée et, après avoir aéré, on procédait à l'enlèvement du noir.

Cette manière d'opérer ne pouvait donner que des produits de qualité inférieure ; la combustion très irrégulière, lente en commençant, plus active au milieu et se ralentissant de nouveau à la fin, produisait une distillation considérable des matières brûlées ; de plus, les peaux et les étoffes laissaient toujours des filaments qui, se mêlant au noir, le rendaient impropre aux emplois délicats de certaines industries.

Dans le but de perfectionner cette fabrication dont les produits laissaient beaucoup à désirer, un grand nombre de procédés ont été employés, mais, quel que soit celui que l'on adopte, le but que l'on cherche à atteindre est toujours de brûler avec le moins d'air possible les matières combustibles destinées à produire le noir.

On doit aussi éviter les pertes produites par le noir que le tirage entraîne.

Pour obtenir ces résultats, chaque fabricant emploie les combinaisons que l'expérience lui a fait reconnaître comme étant les meilleures.

Suivant que la matière combustible est solide ou liquide, on emploie des appareils de combustion différents, mais on cherche toujours à rendre l'opération continue.

Les matières fusibles à une basse température, telles que la naphtaline, peuvent être considérées comme des liquides.

Plusieurs fabricants mettent encore dans des vases de fonte les matières solides (résines, brai, etc.) qu'ils veulent brûler, mais ces vases sont placés dans des fours communiquant avec les chambres par des tuyaux en tôle ou en fonte; on peut rendre l'opération continue en recevant dans une même chambre la fumée de plusieurs fours et en allumant les uns quand les autres sont près de s'éteindre.

Quant aux produits liquides ou très fusibles, on les fait écouler d'une manière continue en un jet qu'on enflamme et qui brûle aussi longtemps que l'on veut sans interrompre le travail. Il suffit de maintenir plein le réservoir d'alimentation.

Les essences très volatiles sont brûlées au moyen de mèches de coton et donnent alors un noir de qualité supérieure, mais d'un prix élevé.

Quels que soient le procédé de combustion et la matière employée, les fumées sont dirigées dans des chambres dont les parois très unies peuvent être nettoyées facilement. Du reste la plus grande partie du noir tombe sur le sol.

L'orifice qui sert à la sortie des gaz et de l'air chaud est fermé par une toile claire ou canevas qui retient les dernières parcelles de noir; plus cet orifice est éloigné de l'ouverture qui donne entrée à la fumée, plus on recueille de noir. Des chambres en forme de galeries sont donc les meilleures.

Nous allons maintenant passer en revue quelques-uns des appareils qui sont employés pour la fabrication du noir de fumée.

Parmi les appareils construits pour brûler les matières solides, nous citerons un four, employé notamment dans les environs de Sarrebruck, dans lequel on fabrique le noir de fumée au moyen de la combustion imparfaite de la houille (fig. 13).

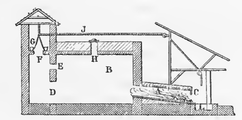


Fig. 13.

Ce four se compose essentiellement d'un long canal incliné A, qui sert de foyer d'une vaste chambre voûtée B où se dépose d'abord le noir de fumée, d'une chambre plus petite F où s'achève le dépôt et dont les ouvertures règlent le tirage, enfin

d'une dernière chambre G, placée au-dessus de la précédente et servant de cheminée.

Le canal A est fait en briques. Son orifice est fermé à moitié de sa hauteur par un mélange d'argile et de sable reposant sur une traverse de fer C. Cette diminution de l'orifice a pour objet d'empêcher l'entrée d'une trop grande quantité d'air qui consumerait une partie du noir.

En avant du foyer on a pratiqué une fosse L, dans laquelle on fait tomber le coke provenant de la combustion imparfaite de la houille.

L'extrémité de la chambre B est percée de deux ouvertures D, E, qui communiquent avec la chambre F. La petite chambre G communique avec celle qui est en dessous par une ouverture circulaire F pratiquée dans le plancher au-dessus duquel est suspendu un cône en canevas G soutenu par une corde et maintenu solidement au-dessus du trou. Les gaz, en se tamisant à travers ce cône, y déposent le peu de noir qu'ils ont entraîné. Au milieu de la voûte de la chambre B on a pratiqué une ouverture H, qui est fermée pendant l'opération avec une plaque J.

Lorsque le sac de canevas G est trop chargé de noir de fumée, le tirage ne se fait plus convenablement ; l'ouvrier qui est au fourneau tire la corde qui le soutient et qui aboutit auprès de lui et secoue le sac pour en détacher le noir, qui tombe dans la chambre placée au-dessous. Quand la houille est transformée en coke, l'ouvrier fait tomber celui-ci dans la fosse L pratiquée en avant, et charge le fourneau de nouveau.

Il y a toujours plusieurs fours dans un même massif.

On charge le fourneau avec 7 kilogrammes de houille à la fois : lorsqu'elle est bien allumée, l'ouvrier l'étale avec un ringard.

L'opération marche d'une manière continue pendant 20 jours : il faut alors ramasser le noir de fumée, dont la couche déposée a de 70 à 90 centimètres d'épaisseur, mais il faut auparavant fermer l'ouverture du foyer et découvrir l'ouverture H ; on rassemble alors le noir en un seul tas, sans quoi il pourrait s'enflammer.

Quand les murs de la chambre sont refroidis, on place le noir dans des sacs de toile.

Par ce procédé, on obtient 33 kilogrammes de noir de fumée et 500 kilogrammes de coke, en brûlant 100 kilogrammes de houille. Ce noir est employé pour la marine et en général pour les applications qui n'exigent pas une couleur fine.

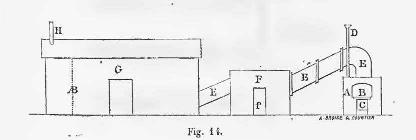


Fig. 14.

La figure 14 représente une disposition due à Buran. Le noir de fumée est produit en brûlant du brai de goudron dans un four en briques sur des plaques de fonte chauffées avec du coke ou de la houille.

En réglant convenablement le chauffage on obtient une combustion régulière du brai ; l'opération est rendue continue par l'accouplement de deux fours qu'on charge alternativement.

Dans les appareils suivants, les matières combustibles employées sont des liquides ou des substances capables de se liquéfier facilement par la chaleur.

On nomme *noir de lampe* un noir de fumée qui s'obtient en brûlant dans des lampes des huiles de diverses qualités. On place un cône en métal au-dessus de chaque lampe renfermée dans une boîte où l'air n'arrive pas en quantité suffisante pour obtenir une combustion complète. Le noir se dépose en grande quantité dans les cônes ; de temps en temps on les enlève, et l'on en fait tomber le noir avec une barbe de plume. Cette préparation se fait sur une grande échelle en Chine, pour la fabrication de l'encre qui nous arrive en bâtons. On ne se sert pas de lampes, mais d'espèces de pots dans lesquels on place 5 ou 6 mèches.

On sépare avec soin le noir qui se détache facilement de celui qui adhère aux cônes et qui, moins fin, sert à la fabrication de l'encre plus commune.

Pour fabriquer d'une manière continue le noir de lampe, on emploie la disposition suivante.

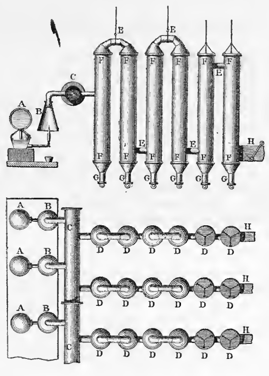


Fig. 15.

Dans des lampes à niveau constant A (fig. 15) on brûle des huiles de mauvaise qualité, auxquelles on mélange souvent des graisses communes : la lampe, n'étant

pas à double courant d'air, produit beaucoup de noir de fumée. Les produits de la combustion de chaque lampe arrivent au-dessous d'une sorte d'entonnoir B et passent par un tuyau coudé dans un gros tube horizontal C en tôle communiquant avec des sortes de sacs en toile forte et serrée D, D, qui ont 8 mètres de haut et 90 centimètres de diamètre ; ils communiquent par des tuyaux en tôle E, ajustés à des anneaux en tôle également, F, F, qui maintiennent les sacs ouverts. Chaque série de sacs est terminée par un canal H, communiquant avec une cheminée. A la partie inférieure de chaque sac se trouve un entonnoir G, G, fermé par un bouchon.

Le tube horizontal C est destiné à refroidir la fumée. La cheminée qui est commune est munie d'un registre pour régler le tirage.

Le noir du premier et même du second sac est souvent humide : on le met à part ; celui des derniers est le plus fin.

Pour détacher le noir qui adhère en flocons à la toile, on frappe les sacs avec une baguette et sous l'entonnoir que l'on débouche on place un récipient.

L'appareil (fig. 16) consiste en une sorte de tube en fonte incliné et chauffé par un fourneau. Les matières fusibles qui doivent être brûlées sont introduites au moyen d'une trémie placée vers la base du tube incliné ; la chaleur du fourneau les

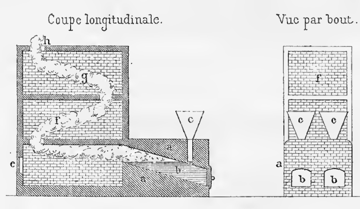


Fig. 16.

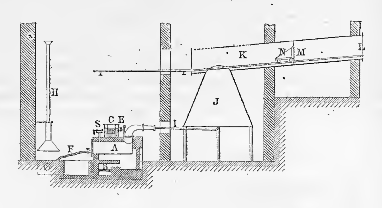
liquéfie et on les enflamme par l'ouverture qui se trouve au point le plus élevé du tube. Cet appareil ingénieux peut donc fonctionner sans autre interruption que celle nécessaire pour vider les chambres.

Par un procédé analogue au précédent, un fabricant de Birmingham prit, en 1820, une patente pour fabriquer du noir de fumée au moyen du goudron de gaz. Après avoir purifié le goudron pour le débarrasser de l'eau qu'il contient, on l'introduit dans de longs cylindres en fonte munis latéralement de becs recourbés à angle droit, ces becs étant garnis de mèches de coton. Lorsque le goudron est porté à l'ébullition, on allume les mèches. La fumée produite par la combustion se rend dans une rangée de cônes munis de tuyaux en tôle qui la conduisent dans une série de sacs en communication les uns avec les autres et dont le dernier est ouvert à l'air libre.

Lorsque les sacs contiennent une quantité suffisante de noir, on ouvre par le bas et on le recueille dans des caisses.

Dans ces derniers temps, un brevet a été pris pour un système de combustion ayant quelque rapport avec le précédent.

Dans une cornue A, analogue aux cornues à gaz, chauffée par un fourneau B (fig. 17), on chauffe les substances destinées à être brûlées. Ces substances pro-



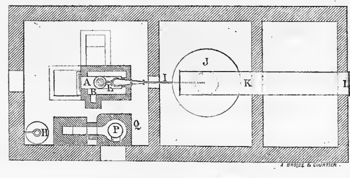


Fig. 17.

viennent d'un récipient C, qui les laisse écouler d'une manière continue par un tuyau D; un robinet E permet de régler l'écoulement. Ce récipient C est à double enveloppe, dans laquelle se trouve de l'eau chaude: il fait donc l'office de réchauffeur, pour maintenir la substance carburée dans un état convenable de liquidité. Une soupape de sûreté S limite la pression dans la cornue. Les résidus sont évacués de temps en temps par le tuyau F et amenés dans une fosse ou cuve G; les gaz qu'ils dégagent s'échappent par la cheminée H.

Les produits de distillation passent par le tuyau l, au bout duquel ils sont enflammés. Ils brûlent ainsi à la base du récepteur J, constitué par un large tube, de forme tronconique, supporté par des colonnes ou pieds-droits de fer à T, et qui se raccorde à sa partie supérieure avec un tuyau K légèrement incliné. Ce tuyau K conduit le noir de fumée dans la chambre de condensation L, dont on n'a indiqué que l'amorce sur le dessin, à cause de ses grandes dimensions. Comme il se dépose du noir dans le tuyau K, on a disposé à l'intérieur une plaque M formant obturateur et reliée à un chariot N. Pendant la marche de l'opération, la plaque M est au bout postérieur du tuyau K, vers le récepteur; si, à un moment donné, on la fait avancer jusqu'à l'autre bout du tube K, on voit qu'elle chassera devant elle tout le noir de fumée et le fera tomber dans la chambre de condensation.

Pour les composés carburés solides, mais liquéfiables, on a disposé une chaudière P dans laquelle on les fait fondre; cette chaudière est placée sur un fourneau Q, chauffé par les flammes du foyer B; les produits fondus sont portés à la main ou amenés par un tube dans le récipient CD.

Enfin, il y a quelques années, on fabriquait à Autun du noir de fumée par la combustion du gaz provenant des schistes bitumineux de cette localité.

Un fabricant de Lyon a pris aussi un brevet pour la fabrication du noir de fumée par le gaz. Le gaz étant produit par les procédés ordinaires, on le brûle avec la quantité d'air strictement nécessaire pour entretenir la combustion. Le noir produit est reçu dans des chambres.

Le noir de fumée ordinaire est loin d'être du charbon pur. Braconnot, qui en a fait l'analyse, y a trouvé diverses matières, savoir :

Carbone.	79,1
Matière résineuse.	5,3
Matière bitumineuse.	1,7
Ulmine	0,5
Sulfate d'ammoniaque.	3,3
— de potasse.	0,4
— de chaux	0,8
Phosphate de chaux ferrugineux.	0,3
Sable quartzeux.	0,6
Eau.	8,0
	100,0

Braconnot ne dit pas d'où provenait le noir de fumée qu'il a examiné, mais la présence de l'ammoniaque et celle de l'acide sulfurique indiquent que c'est du noir de houille.

Quoi qu'il en soit, on voit que le noir de fumée ne serait pur qu'autant qu'après l'avoir délayé dans l'alcool on le ferait digérer avec une dissolution de potasse pour enlever les matières goudronneuses, puis avec de l'acide chlorhydrique pour extraire les sels terreux. On le laverait ensuite à l'eau et on le dessécherait.

On se contente ordinairement de calciner le noir de fumée en vase clos, ou bien de le laver avec de la soude et de l'alcool.

Le noir de fumée est employé à la préparation du noir pour la peinture, de l'encre de Chine, de l'encre d'imprimerie, etc.

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

Par M. Stanislas MEUNIER

Docteur ès sciences. — Aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle.
Lauréat de l'Académie des Sciences.

INTRODUCTION

Sous le nom commun de combustibles minéraux on réunit depuis bien longtemps les diverses variétés de charbons fossiles. Bien que leur composition quantitative ne puisse pas être invoquée pour établir parmi eux des divisions bien tranchées, on a cependant trouvé quatre types de compositions différents les uns des autres et qui doivent être considérés comme établissant quatre groupes, savoir : 1° celui de la *tourbe;* 2° celui du *lignite;* 3° celui de la *houille;* 4° celui de l'*anthracite.*

Voici pour justifier cette division et d'après Regnault, les analyses de quatre échantillons moyens fournis par les groupes dont il s'agit :

	Carbone	Hydrogène	Oxygène et azote.
Tourbe	60	5 à 6	34
Lignite	60 à 75	5 à 6	38 à 30
Houille.	75 à 90	0 à 6	6 à 18
Anthracite.	92 à 95	2 à 3	3 à 4

On verra qu'il semblerait assez naturel de constituer, au moins, un nouveau type, intermédiaire entre les lignites et les houilles. C'est un point sur lequel nous reviendrons.

Nous ajouterons à ces roches : le graphite et même le diamant, qui sont du carbone pur ; — les bitumes (asphaltes, malthes, pétroles) ; — les résines (succin, ozokérite), — les gaz inflammables (hydrogènes carbonés) qui sortent du sol en divers points ou qui y constituent des accumulations.

Ces divers corps, que réunit la présence commune, en quantité prépondérante, du carbone non oxydé, constituent un groupe dont l'intérêt est exceptionnel à la fois en ce qui concerne la science pure et la technologie.

Au premier point de vue on verra qu'ils posent au chimiste et au géologue de très difficiles problèmes. — Au second, nous aurons à mentionner d'innombrables applications de chacun d'eux.

Dans les pages qui vont suivre nous passerons successivement en revue les diverses catégories de combustibles minéraux.

Pour chacun d'eux on trouvera : 1° l'énumération des caractères physiques; 2° les résultats de la composition chimique; 3° ceux de la composition immédiate ou minéralogique; 4° la description des gisements avec des vues sur l'origine et le mode de formation; 5° un aperçu des applications.

CHAPITRE PREMIER

LA TOURBE

§ I. CARACTÈRES PHYSIQUES DE LA TOURBE.

La tourbe est une substance brune ou noirâtre, terne et spongieuse, combustible quand elle est séchée, et répandant alors une odeur complexe, désagréable et tout à fait caractéristique.

La pesanteur spécifique des tourbes varie beaucoup selon leur degré de dessiccation plus ou moins avancé, la nature des végétaux générateurs et la partie de la couche d'où provient l'échantillon examiné. Les variétés les plus fréquentes pèsent de 160 à 170 kilogrammes le mètre cube; chiffre variable avec le volume des vides laissés. Certaines variétés très compactes pèsent 200 kilogrammes.

D'après M. Challeton de Brughat, la pesanteur spécifique des tourbes du Fichtelgebirge, en Bavière, varie de 285 à 350 kilogrammes le mètre cube plein. La même tourbe *moulée*, préparée par la méthode dite hollandaise, pèse 300 à 350 kilogrammes. Celle des marais de Montoire, près Saint-Nazaire (Loire-Inférieure), pèse 220 à 280 kilogrammes; celles des marais de Fos, près de Marseille, pèse, à l'état sec, de 270 à 300 kilogrammes; celle des marais du Scheland de 225 à 285.

§ II. COMPOSITION CHIMIQUE DE LA TOURBE.

Suivant Rivot[1], les tourbes sont presque toujours très hétérogènes, car elles renferment les débris de plantes très diverses, à des états variables de décomposition, mélangés avec des matières terreuses. Quand ces dernières paraissent être en petite quantité, la tourbe peut être employée après une simple dessiccation à l'air, mais il n'en est pas de même pour les tourbes très chargées de matières terreuses, surtout pour celles qui sont destinées aux usages métallurgiques : il faut leur faire subir une véritable préparation mécanique, nécessairement variable avec la texture de la tourbe elle-même et avec la nature et la grosseur des grains des matières terreuses qu'il s'agit de séparer. La tourbe lavée, desséchée lentement à l'air, présente une texture généralement très compacte; elle peut ordinairement produire dans les foyers une température plus élevée que celle qu'on doit attendre de la tourbe non lavée.

1. *Docimasie*, t. I, article Carbone.

Les diverses qualités de tourbes contiennent, du reste, à peu près les mêmes matières en proportions variables : de l'eau hygrométrique, des substances organiques riches en carbone, des sels divers provenant de la sève ou de la constitution même des plantes ; du sable quartzeux, de l'argile ferrugineuse ou calcaire, plus rarement des pyrites et du sulfate de chaux, matières qui se sont déposées sous les eaux, soit pendant, soit après les périodes de végétation.

Les cendres que produit la combustion complète de la tourbe sont ordinairement pulvérulentes ; elles contiennent les mêmes corps que les cendres des plantes, et, de plus, en proportion souvent considérable, les matières terreuses apportées par les eaux sous lesquelles la tourbe s'est formée. Ce sont principalement du sable quartzeux en grains plus ou moins fins ; de l'argile quelquefois ferrugineuse ; du calcaire ou plus rarement de la dolomie ; du sulfate de chaux ; des pyrites. Ces matières sont partiellement altérées pendant la combustion, et les cendres contiennent des silicates, dont les bases sont l'alumine, la chaux, l'oxyde de fer, les alcalis ; de l'oxyde de fer ; de la chaux et de la magnésie à l'état caustique ; du sulfate de chaux ; des sels alcalins en petite quantité, et enfin du carbonate de chaux, quand la température n'a pas été poussée jusqu'au rouge vif. Les cendres renferment ordinairement trop peu d'alcalis et d'acide phosphorique pour qu'il soit possible d'en déterminer la proportion avec quelque exactitude, mais la présence de ces corps a été constatée par tous les chimistes qui ont fait avec soin les analyses des cendres de tourbe.

Procédés d'analyse.

Pour l'examen des tourbes, il faut multiplier les essais sur des échantillons convenablement choisis.

Il faut, du reste, pour chaque échantillon, opérer comme pour l'analyse des bois, c'est-à-dire :

Déterminer la proportion d'eau hygrométrique par dessiccation ;

Évaluer la perte par calcination à l'abri du contact de l'air ;

Faire l'incinération et peser les cendres.

Ces trois opérations suffisent parfaitement pour les tourbes destinées aux usages domestiques, ou même pour celles qui doivent être employées au chauffage des appareils à vapeur. L'analyse des cendres, et la détermination du pouvoir calorifique, par fusion avec de la litharge, sont indispensables quand il s'agit d'utiliser les tourbes en métallurgie. Il faut même avoir soin de calculer la proportion de carbone pur équivalent aux matières volatiles, afin de pouvoir se rendre compte, au moins par comparaison de différentes tourbes entre elles, du degré de chaleur qu'on peut attendre des flammes à une certaine distance du foyer. Ces deux opérations sont encore essentielles quand il est nécessaire d'apprécier l'influence du lavage sur la qualité de la tourbe.

Le lavage sépare une partie des matières terreuses, et fait perdre en même temps une fraction très notable de la substance utile ; il faut pouvoir comparer au poids de la tourbe brute employée, à la proportion des matières utiles et inutiles qu'elle renferme, le poids de la tourbe obtenue par le lavage et sa valeur comme combustible. Les opérations sont conduites comme lorsqu'il s'agit d'examiner le bois ; elles présentent les mêmes difficultés, exigent les mêmes précautions ; il suffira de

donner d'une matière générale les limites entre lesquelles sont comprises ordinairement les proportions d'eau hygrométrique, de matières volatiles, de carbone fixe, de cendres, et le pouvoir calorifique des tourbes elles-mêmes et des matières volatiles.

Eau hygrométrique. — Les tourbes simplement desséchées à l'air retiennent des quantités d'eau hygrométrique très variables avec leur texture et surtout avec les circonstances atmosphériques. Dans les temps très chauds et très secs, la tourbe compacte ne perd pas plus de 10 pour 100 de son poids par dessiccation ; après plusieurs mois pluvieux, la tourbe à texture un peu lâche retient jusqu'à 25 pour 100 d'eau hygrométrique. Ces nombres peuvent être considérés comme des limites extrêmes.

Matières volatiles. — La plupart des tourbes, préalablement desséchées à une température supérieure à 100°, perdent par calcination de 40 à 50 pour 100 de matières volatiles, dont la richesse en carbone dépend beaucoup de la rapidité avec laquelle la calcination est conduite. Dans le cas d'une calcination rapide, le carbone équivalent aux matières volatiles varie entre 10 et 26 pour 100 du poids de la tourbe desséchée à l'air, mais ce chiffre 26 pour 100 est une limite supérieure et s'applique seulement aux tourbes très pures et presque sèches.

Carbone fixe. — Le carbone fixe qui, mélangé avec les matières terreuses, constitue le résidu fixe de la calcination, ou le charbon de tourbe, est en proportion extrêmement variable : ainsi, pour les tourbes françaises, les essais faits jusqu'à présent ont donné depuis 14 jusqu'à 59 pour 100 de carbone fixe, les tourbes étant calcinées dans l'état sous lequel elles sont livrées à la consommation, et la calcination étant conduite très rapidement.

La détermination du carbone fixe présente pour les tourbes une incertitude qui ne se rencontre pas quand on examine les bois. On déduit le carbone en retranchant du poids du charbon celui des cendres calcinées : or, quand les tourbes sont mélangées de sulfate de chaux, ce qui arrive assez fréquemment, ce sulfate est décomposé presque entièrement par le charbon pendant la calcination, et transformé en sulfure de calcium ; on pèse donc dans le charbon le carbone, plus les matières terreuses renfermant le sulfure de calcium ou bien du sulfate de chaux. Après la combustion sous le mouffle, les cendres contiennent le sulfate de chaux, lequel n'est décomposé qu'en proportion variable pendant la calcination des cendres, qui doit précéder leur pesée. Ce sel est préservé de l'action du quartz et de l'argile par la chaux libre provenant du carbonate de chaux, quand la tourbe contient beaucoup de calcaire; dans le cas contraire, la décomposition du sulfate de chaux peut être complète. Il ne saurait donc y avoir égalité de poids entre les cendres et les matières terreuses contenues dans le résidu de la calcination de la tourbe, quand cette dernière renferme du sulfate de chaux. Cette cause d'incertitude s'ajoute à celle qui provient des variations importantes que subit la décomposition de la matière organique avec la rapidité de la calcination. Les nombres portés au tableau de l'essai des tourbes, sous le titre de *carbone fixe*, ne peuvent être que plus ou moins approximatifs.

Cendres. — La proportion des cendres laissées par la combustion des tourbes descend très rarement au-dessous de 6 pour 100, et fréquemment elle s'élève à

12 et même à 18 pour 100. Celles qui sont obtenues dans les laboratoires ont été soumises à une action oxydante très prolongée, et ne renferment pas de sulfure de calcium; ce composé se trouve, au contraire, assez fréquemment dans les cendres des foyers des chaudières à vapeur et des usines, en même temps qu'une certaine quantité de charbon qui n'a pas été complètement brûlé.

Les cendres contiennent ordinairement beaucoup de silice à l'état de silicates facilement attaquables par les acides les plus faibles, de l'alumine, de l'oxyde de fer, de la chaux, du sulfate de chaux et des sels alcalins, corps qui peuvent avoir sur la végétation une influence assez favorable. Les cendres de tourbe sont employées dans quelques localités comme amendement; il est, pour ce motif, quelquefois utile de faire l'analyse bien complète des cendres; cette analyse est extrêmement complexe.

Pouvoir calorifique. — La tourbe a généralement un pouvoir calorifique un peu inférieur à celui du bois, quand l'expérience est faite sur le combustible séché en plein air; il n'en est pas de même pour la tourbe desséchée au-dessus de 100°; elle donne avec la litharge autant et plus de plomb que le bois également desséché. Dans son état hygrométrique ordinaire, après plusieurs mois d'exposition à l'air, la tourbe donne avec la litharge de 8 à 15 parties de plomb; elle équivaut, pour son pouvoir calorifique, à des proportions de carbone pur comprises ordinairement entre les limites de 0,235 à 0,440 de son poids.

Résultats d'analyses.

Regnault[1] a analysé un certain nombre de tourbes qui lui ont donné :

	COMPOSITION				DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.		
	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.
Tourbe vulgaire.	67,03	5,63	31,76	5,58	60,40	5,96	33,64
— de Louy.	58,09	5,63	31,37	4,61	60,89	6,21	32,90
— du Champ du Feu.	57,79	6,11	30,77	5,33	61,05	6,45	32,50

On doit à Berthier[2] l'analyse de plusieurs variétés de tourbe du département de la Somme.

Celles de Rue, près du Crotoy, à l'embouchure de la Somme, sont compactes, d'un brun de café au lait; on en distingue deux variétés qui viennent l'une et l'autre de la même tourbière, mais la première a été exploitée au louchet, tandis que l'autre, extraite à l'état de boue, a été moulée. Elles ont donné :

	La première.	La seconde.
Charbon.	21,0	20,5
Matières volatiles.	72,0	69,2
Cendres.	7,0	10,3
	100,0	100,0

1. *Annales de Chimie et de Physique*, t. LXVI, p. 261.
2. *Annales de Chimie et de Physique*, t. LIX, p. 249.

Les tourbes des environs d'Abbeville sont herbacées, compactes, dures, pesantes et d'un brun foncé presque noir; elles paraissent être arrivées au dernier terme d'altération; elles ne font aucune effervescence avec les acides quoiqu'elles contiennent beaucoup de chaux, parce que cette base y est presque exclusivement à l'état d'ulmate.

Berthier en a examiné deux variétés provenant, la première du Long et la seconde de Mareuil, et, pour chacune, il a comparé la tourbe extraite au louchet et la tourbe moulée. Elles ont donné à l'analyse :

	LE LONG		MAREUIL	
	Au louchet.	Moulée.	Au louchet.	Moulée.
Charbon	23,0	18,2	24,4	19,5
Matières volatiles	72,2	57,6	72,0	67,0
Cendres	4,8	24,2	3,6	13,5
	100,0	100,0	100,0	100,0

C'est encore le même chimiste qui nous a fait savoir que la tourbe du Château-Landon (Seine-et-Marne) renferme [1] :

Charbon	26
Matières volatiles liquides	31
Gaz	28
Cendres	15
	100

Celle de Demerary lui a donné :

Charbon	23,5
Matières volatiles liquides	36,7
Gaz	22,5
Cendres	17,3
	100,0

Les réactifs séparent de la tourbe de Clermont (Oise) :

Charbon	30,1
Matières volatiles liquides	28,4
Gaz	25,1
Cendres	17,4
	100,0

L'analyse des tourbes du marais de Montoire, par MM. Moride et Robière, de Nantes, a fourni :

Azote	0,56
Matière organique azotée	82,64
Carbonate et sulfate de chaux	2,69
Oxyde de fer, de manganèse et d'alumine	4,94
Silice	6,86
Perte	0,80
	98,49

1. *Traité de Minéralogie*, de Dufrénoy, t. III, p. 730.

Les tourbes des marais de Saumur contiennent :

Azote	0,60
Matière organique non azotée	58,00
Sels solubles dans l'eau	1,50
Carbonate et sulfate de chaux	7,94
Oxyde de manganèse et alumine	9,96
Silice	21,84
	99,84

Elles laissent 41,24 pour 100 de cendres.

Voici l'analyse de la tourbe de Truffarda (Italie) :

Carbone	27,50
Cendres	17,50
Liquides et gaz	55,00
	100,00

A l'analyse, la tourbe de Saint-Martin donne :

Charbon	27,87
Cendres	23,83
Liquides et gaz	48,30
	100,00

D'après Berthier, la tourbe de Kœnigsbrunn renferme :

Charbon	24,40
Matières volatiles	70,60
Cendres	0,50
	95,50

Une tourbe de Voitsuma, en Bavière, a donné à l'analyse :

Charbon	40,25
Goudron	24,50
Eau	14,00
Azote	0,27
Acide carbonique	10,80
Hydrogène carboné	10,18
	100,00

D'après M. Woskressensky [1], une tourbe de Saint-Pétersbourg renferme :

Carbone	39,084
Hydrogène	3,788
Oxygène et azote	51,088
Cendres	6,040
	100,000

1. *Revue scientifique et industrielle*, t. XXIV, p. 366.

§ III. COMPOSITION MINÉRALOGIQUE ET COMPOSITION IMMÉDIATE DE LA TOURBE.

Pour observer la structure des combustibles fossiles en général, et de la tourbe en particulier, M. Gümbel (de Munich) opère de la manière suivante[1] :

On sait que l'acide azotique et, mieux encore, le mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse, exercent sur le charbon des réactions oxydantes étudiées en détail par M. Berthelot[2] et qui le transforment en acide ulmique ; la réaction est plus ou moins rapide suivant la nature des charbons.

En traitant ensuite par la potasse, ou par l'ammoniaque, la matière ainsi attaquée, on dissout l'acide ulmique à l'état d'ulmate alcalin et l'on met en liberté de minces débris de membranes végétales, presque toujours des cuticules de feuilles ou de rameaux.

M. Gümbel a reconnu que ces fragments de cuticule ne sont pas les seuls éléments des combustibles fossiles qui aient conservé leur structure; seulement ils résistent seuls à l'action des alcalis, tandis que les autres portions encore organisées, mais complètement transformées en charbon, sont entièrement dissoutes; il faut donc soumettre à l'examen microscopique des fragments attaqués avant de faire agir sur eux la dissolution alcaline ; le plus souvent, leur couleur foncée, qui leur retire toute transparence, rend l'observation très difficile ; mais en les traitant par l'alcool absolu on les décolore, ou du moins on les éclaircit assez pour pouvoir aisément reconnaître après ce traitement la structure des parties organisées.

Il suffit, d'après M. Gümbel, d'employer, pour ces observations, des esquilles de charbon détachées au marteau, les unes suivant la stratification, les autres suivant une direction normale, sans recourir à la préparation toujours délicate de véritables lames minces.

Il recommande l'emploi d'une dissolution saturée de chlorate de potasse et d'acide azotique de 1,47 de poids spécifique ; l'attaque se fait à froid et plus ou moins rapidement, suivant la nature des charbons soumis à l'étude.

En général, les combustibles les plus anciens sont les plus réfractaires à l'oxydation ; mais on réussit cependant à les attaquer, au moins en partie, en recourant à l'action de la chaleur, et au besoin en substituant au chlorate en dissolution le chlorate solide mélangé à la matière charbonneuse et en traitant par l'acide concentré. Pour les plus résistants, comme le fusain de la houille ou l'anthracite, on peut faciliter leur attaque en les faisant préalablement bouillir dans l'acide sulfurique concentré.

Enfin, dans quelques cas, l'incinération, déjà indiquée par plusieurs auteurs, reste le seul moyen disponible pour mettre en évidence la structure intime de certains charbons.

Il importe de se tenir en garde contre les erreurs qui peuvent résulter, lors de l'examen microscopique, de certaines apparences, telles que l'aspect de très minces

1 *Sitzun. d. bayern Akad. der Wissen. math. phys. Class*, 1883, t. I, p. 111 à 216.
2 *Annales de Chimie et de Physique* (IVe série), t. XIX, p. 392.

esquilles de schistes dont les variations d'épaisseur donnent lieu à des lignes plus foncées qui feraient croire à un réseau cellulaire.

On observe souvent aussi des pellicules jaunâtres fréquemment percées de petits trous, affectant quelquefois une forme sphérique (fig. 18), qui sont uniquement con-



Fig. 18. — Globules résineux jaunâtres contenus dans la tourbe. — D'après M. Gümbel.

stituées par de la résine ou de la matière ulmique en flocons et que certains auteurs ont prise pour de la substance protoplasmique. On peut également être trompé par des concrétions de nature purement minérale, formées, par exemple, de calcite, de dolomie, de fer carbonaté, de pyrite ou de quartz (fig. 19). Ainsi que le fait



Fig. 19. — Globules siliceux de la tourbe. Celui de droite montre la croix noire produite dans la lumière polarisée. — D'après M. Gümbel.

remarquer M. Gümbel, les travaux de M. Reinsch[1] sur la structure microscopique des charbons, remplis d'observations très exactes, pèchent en plus d'un point par des erreurs d'interprétation de ce genre, déjà relevées du reste par plusieurs auteurs.

[illegible]t dans un même gisement de tourbe on trouve une alternance de petites [illegible]s molles et de lits plus solides ; en traitant par la potasse les parties encore [illegible]es, on obtient une masse entièrement composée de débris végétaux, feuilles de graminées et de mousses, aiguilles et rameaux de conifères, étroitement enchevêtrés.

Les parties solides, attaquées par les réactifs oxydants se montrent composées aussi d'éléments végétaux à structure discernable, cimentés par une matière amorphe analogue au dopplérite (Haidinger[2]) : cette matière se montre souvent remplissant l'intérieur des cellules végétales, dont les parois sont encore intactes. Les tiges et les rameaux plus ou moins aplatis qu'on rencontre dans ces dépôts sont remplis d'une substance molle, jaunâtre, rappelant le bois pourri, tandis que l'écorce est transformée en un charbon brillant qui, traité par l'acide azotique et le chlorate de potasse, montre l'organisation caractéristique des tissus corticaux. La présence, à côté de ces troncs ou de ces rameaux, de cônes de conifères non déformés prouve bien que leur aplatissement ne saurait être attribué à la pression et ne résulte que de la décomposition des tissus ligneux.

Un fait intéressant est la présence, dans un grand nombre de tourbes, de fragments de plantes *carbonisées* tout à fait analogues au fusain du terrain houiller, et se comportant comme lui vis-à-vis des réactifs oxydants, en ce sens qu'ils offrent

1. *Neue Untersuchungen über der Mikrostructur der Steinkohlen*, Leipzig, 1881.
2. *Uber Torf und Dopplerit*, par le Dr J. J. Früh ; Zurich, 1883.

à l'attaque une résistance plus grande que la masse de la tourbe dans laquelle ils sont noyés, ainsi qu'il arrive pour le fusain par rapport à la houille elle-même. On y voit des trachéides à ponctuations aréolées et des fibres libériennes.

Quelques tourbes compactes présentent avec le boghead ou le cannel-coal une analogie singulière : la cassure en est mate et d'aspect tout à fait homogène; examinées en lames minces au microscope, elles se montrent composées d'une série de lits horizontaux excessivement minces, renfermant des grains ronds jaune clair ou rouge brun, comme ceux qu'on observe également sur des coupes transversales de ces deux variétés de houille. On y reconnaît en outre des débris très divisés de feuilles de graminées ou de mousses, quelques fragments de bois et des grains de pollen en nombre incalculable.

Certaines tourbes, vues au microscope, se montrent formées d'une succession de lits très minces, les uns de couleur foncée, les autres de couleur claire, et l'on constate que cette différence de coloration répond à des degrés différents de décomposition des matières végétales; les lits clairs correspondent aux parties les moins altérées. Dans d'autres on voit sur la cassure transversale alterner des bandes, les unes brillantes, les autres mates, et le traitement par l'ammoniaque apprend que les premières sont formés par les parties solubles des plantes dont les débris constituent la masse de la tourbe.

Parmi les substances qui se rattachent à la tourbe, l'une des plus intéressantes est le *dopplérite* observé dans quelques tourbes, notamment aux environs de Berchtesgaden, et que nous venons de citer. C'est une substance brune, élastique quand elle est humide, qui, desséchée lentement, se transforme en une masse compacte noire, à cassure brillante, qui ne réabsorbe plus l'eau et ne se dissout ni dans l'alcool ni dans l'éther; traitée par la potasse, elle se fond en une liqueur d'un brun foncé, au milieu de laquelle on découvre quelques débris de plantes et de petits grains de couleur jaune faiblement réfringents, montrant la croix noire à la lumière polarisée, et présentant en somme la plus parfaite ressemblance avec ceux qu'on observe, comme on le verra plus loin, dans les houilles après traitement par les réactifs oxydants. Même après l'attaque par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, il est impossible d'y découvrir la moindre trace d'organisation. Le dopplérite brûle avec une flamme fumeuse et laisse 8,25 pour 100 de cendres blanches qui se dissolvent dans les acides avec un brunissement prononcé. Il semble que la chaux soit, dans le dopplérite, à l'état de combinaison chimique avec l'acide ulmique. Cette matière offre la plus grande ressemblance, à tous les points de vue, avec celle qui constitue le ciment de la plupart des tourbes, ciment dont on retrouve l'analogue dans presque tous les combustibles minéraux.

Il convient de rapprocher du dopplérite la matière charbonneuse qui constitue les couches de *papierkohle* du carbonifère du gouvernement de Toula, dans la Russie centrale. Cette matière interposée entre les innombrables fragments de cuticules qui donnent à la masse sa structure feuilletée est, en effet, comme le dopplérite, et bien que remontant à une époque géologique fort éloignée, complètement soluble dans la potasse et dans l'ammoniaque, et elle présente tous les caractères de l'acide ulmique, ainsi que M. Zeiller l'a montré [1].

1. *Bull. Soc. botan. de Fr.*, t. XXVII, p. 349 et *Ann. sc. nat.*, 6e série, *Bot.*, t. XIII, p. 219.

En faisant des coupes minces dans les tourbes, on constate que les débris végétaux qui entrent dans leur composition sont séparés par une matière amorphe, soluble dans la potasse faible, qui forme en quelque sorte le ciment de la masse et lui donne sa compacité.

On a rencontré dans des tourbières. à 0m,50 seulement de profondeur, des troncs aplatis dont la déformation ne peut être attribuée qu'à la décomposition et à la disparition des éléments ligneux, sans que la pression y soit pour rien.

Comme comparaison avec les résultats qu'il avait obtenus pour la tourbe, M. Gümbel a soumis à une forte compression du lignite xyloïde provenant d'un tronc de conifère non déformé. Sous une pression de 6000 atmosphères, la réduction de dimension a été de 100 à 84 et à 73; et sous une pression de 20 000 atmosphères, de 100 à 82 et à 67, suivant que la compression s'exerçait perpendiculairement ou parallèlement aux fibres ligneuses. On voit que la compression n'a pas sensiblement diminué le volume, et qu'en tous cas l'influence de ces fortes compressions est beaucoup moins grande que dans le cas de la tourbe. Cette différence paraît devoir être attribuée à ce qu'il n'y a pas ici d'intervalles vides dans la masse, les fibres du bois se montrant, sur une coupe transversale, complètement remplies par une substance noire, matière ulmique, soluble dans la potasse. Aussi ces cellules ne subissent-elles qu'une déformation à peine visible; la masse prend seulement une couleur un peu plus foncée, et dans le cas où la pression s'exerce parallèlement à elles, les fibres ligneuses se plient et s'infléchissent en zigzag.

A part l'observation microscopique et au point de vue purement chimique, l'*analyse immédiate* des tourbes a depuis longtemps occupé les savants. Une des plus anciennes analyses de ce genre est celle de Klaproth sur la tourbe du comté de Mansfeld :

Produits solides p. %, 40,50	Charbon. Sulfate de chaux. Peroxyde de fer. Alumine. Chaux. Sable.
Produits liquides p. %, 42	Eau chargée de pyroligneux. Huile empyreumatique.
Produits gazeux p. %, 17,50	Acide carbonique. Oxyde de carbone. Hydrogène carboné.

Ce célèbre auteur mentionne de plus de l'acétate d'ammoniaque d'ordinaire en quantité faible, mais très notable dans certaines tourbes. Il pense qu'on peut attribuer son origine à quelques débris des animaux qui vivent dans les marais ou qui y ont été entraînés par les eaux affluentes.

Voici l'analyse de Wegman, sur deux espèces de tourbe du duché de Brunswick : — Première tourbe compacte (Sterhtorf) sur 1000 parties :

Alumine	276
Cire	62
Résine	48
Bitume	90
Charbon terreux	450
Eau	54
Muriaté de chaux	0,15
Sulfate de chaux	2,80
Silice et sable	7,20
Alumine	0,80
Carbonate de chaux	4,40
Fer et phosphore	2,65
	998,00

Deuxième analyse de tourbe à forme, ou mousseuse (Roggerstorf) sur 1000 parties :

Ulmine	104
Cire	2,50
Résine	4,25
Bitume	22,50
Charbon terreux	446
Eau	21
Sulfate de chaux	48,75
Carbonate de chaux	16
Fer	66
Alumine	96
Silice	22
Quartz	142
	991,00

La tourbe des environs de Freyberg a été examinée par Lampadius [1]. Elle est à demi fluide et, dans quelques endroits, on y voit en abondance des débris végétaux brunis : racines, écorces, noisettes; parfois on y recueille des parties ligneuses avec des traces d'une résine blanche et pulvérulente.

L'analyse immédiate a donné :

Fibres menues de couleur brune	4,32
Crénates, apocrénates et ulmates d'alumine, de chaux, de magnésie, de fer et de manganèse	6,02
Humus	2.01
Terres solubles dans l'acide chlorhydrique	1,23
Matières solubles dans l'eau chaude	1,33
Eau d'hydratation	20,50
Sable micacé mélangé	2,12
Eau hygroscopique	62,01
	99,54

1. *L'Institut*, année 1836.

Thyllaye-Platel a trouvé dans la tourbe de la vallée de la Vesle :

Carbone	15.45
Goudron	6,80
Eau acide	38,90
Gaz divers	18,60
Cendres	19,25
Pertes	1,00
	100,00

Les bancs inférieurs, de la même tourbe, n'offrant aucune trace d'organisation végétale, ont fourni au même auteur :

Eau	12,55
Matière ligneuse	49,20
Ulmine	12,00
Substance résineuse	3,80
Substance analogue à la cire	1,30
Oxyde de fer	0,42
Silice	0,80
Gypse	4,50
Chaux et acide phosphorique	2,70
Perte	11,78
	99,05

La tourbe d'Alonde a donné à l'analyse :

Charbon	32
Acide carbonique et oxyde de carbone	22
Huile volatile	22
Liquide aqueux contenant de l'acétate d'ammoniaque	25
	101

Reinsch a donné [1] les résultats suivants comme exprimant la composition d'une tourbe moyenne :

Acide crénique libre	0,1
Crénate cuivrique	0,3
Résine rouge soluble dans l'alcool froid	2,0
Résine visqueuse soluble dans l'alcool froid	1,1
Cire soluble dans l'alcool bouillant	2,6
Résine soluble dans l'éther	0,9
Acide humique soluble dans la potasse	70,7
Matière noire soluble dans la potasse	11,3
Matières inorganiques	11,0
	100,0

Le directeur de la station agronomique d'Amiens, M. Ch. Guignet, a fait l'ana-

1. *Rapport annuel de Berzelius*, 1843.

lyse immédiate des tourbes de la Somme. Traitées par l'eau dans l'appareil à épuisement de Cloëz, elles donnent une solution de couleur ambrée qui renferme les acides *crénique* et *apocrénique*. En outre l'eau dissout un peu de sulfate de chaux.

La benzine enlève aux tourbes une matière cireuse peu abondante. L'alcool à 90 degrés donne une solution vert clair qui laisse déposer d'abondants flocons de cire végétale.

La matière verte a conservé les caractères de la chlorophylle.

Outre les substances précédentes, les tourbes contiennent des glucosides et des matières brunes, dont M. Guignet n'a pas déterminé la nature. Ces matières rentrent dans la série des corps bruns azotés étudiés par Paul Thénard.

M. Kolb avait antérieurement [1] examiné la constitution chimique des tourbes du département de la Somme. Il s'était attaché à démontrer la défectuosité du mode actuel d'utilisation de la tourbe, qui est consacrée au chauffage, car l'incinération détruit les matières ulmiques, substances précieuses pour l'agriculture, qu'il faudrait, au contraire, s'efforcer de rendre solubles et assimilables.

D'après lui, les tourbes de la Somme chauffées, à 100°, se dessèchent sans éprouver aucune décomposition; elles ne perdent ni gaz carbonés ni azote. Leur densité moyenne est de 1,405. Les meilleures qualités se trouvent à Longueau, à Camon, à Boves et à Longpré, et contiennent environ 9 pour 100 de cendres. Leur pouvoir calorifique a été déterminé par la litharge; il est environ de 3,300, c'est-à-dire voisin de celui du chêne desséché. Elles donnent 40 pour 100 de coke pesant 420 kilogrammes au mètre cube, et 60 pour 100 de gaz; d'après M. de Marsilly ces derniers contiennent :

Hydrogène	40
Oxyde de carbone	30
Hydrogène carboné	11
Acide carbonique	14
Ammoniaque	2
	97

Les deux derniers gaz compris dans cette liste se dégagent au début de la distillation.

Comme renseignement complémentaire et comme exemple entre beaucoup d'autres qu'on pourrait citer, il convient de mentionner que la distillation sèche d'une tourbe de la vallée de la Vesle a fourni :

Gaz divers	22,70
Substance huileuse	8,15
Acide pyroligneux	25,00
Charbon	32,00
Sels	12,00
Perte	2,15
	102,00

Un sujet d'étude des plus intéressants concerne la composition chimique des

1. *Société industrielle d'Amiens*, 1870.

cendres de tourbe. C'est à ce titre que nous mentionnerons les chiffres qui suivent :

Cendres de *bouzin* (tourbe jaunâtre filamenteuse), sur 100 parties :

Quartz	0,201
Silice	0,110
Alumine	0,097
Oxyde de fer	0,190
Chaux	0,141
Magnésie	0,086
Oxyde de manganèse	0,035
Gypse	0,102
Sel marin	0,010
Sulfate de soude	0,012
Phosphate de chaux	0,016

Analyse des cendres de tourbe par Spengel, tourbe ligneuse sur 100 parties :

Quartz	0,110
Silice	0,200
Alumine	0,185
Magnésie	0,059
Carbonate de chaux	0,133
Oxyde de fer	0,124
Oxyde de manganèse	0,001
Gypse	0,123
Phosphate de chaux	0,015
Muriate de soude	0,040
Perte	0,011

Analyse de la cendre des tourbes de Strasbourg, par Oberlin et Buchner[1]:

Hydrochlorate de soude		0,19	1 »
Carbonate de chaux		0,80,50	
Traces de	Carbonate de magnésie	» »	
	Phosphate de magnésie	» »	
	Phosphate d'alumine	» »	
	Alumine	» »	
	Oxyde de fer	» »	
	Sulfate de chaux	» »	
	Silice	» »	
Perte attribuée aux susdites traces		0,00,50	

Cette cendre ne renferme ni soufre ni iode.

1. *Journal de pharmacie*, t. XX, p. 253.

Berthier[1] a donné l'analyse des cendres des tourbes de Voitsuma (Bavière) :

Silice	34,50	100
Alumine	17,25	
Sulfate de chaux	4,50	
Oxyde de fer	33	
Chaux	2	
Magnésie	3,55	
Charbon	2,75	
Chlorhydrate de chaux	0,45	
Parties volatiles	2	

Analyse des cendres de tourbe des marais de Montanges, prise au milieu de la formation, c'est-à-dire à 5 mètres de profondeur :

Magnésie	0,002
Carbonate de chaux	0,258
Oxyde de fer	0,118
Phosphate de chaux	0,015
Sous-carbonate de chaux	0,191
Alumine	0,204
Silice	0,178
Perte	0,034
	1,000

Les cendres des tourbes de la Somme étant très recherchées pour l'agriculture, M. Kolb[2] en a fait beaucoup d'analyses; il a reconnu qu'elles sont exclusivement formées de carbonate et de sulfate de chaux ainsi que d'argile ferrugineuse. Les phosphates et les alcalis s'y rencontrent seulement en traces insignifiantes. Dans la tourbe crue, la chaux se trouve du reste en partie à l'état d'umate, tandis que dans les cendres elle est dosée à l'état de carbonate. Quelques tourbes d'Amiens, de Longueau, de Camon, contiennent une proportion de sulfate de chaux qui peut s'élever à 54 pour 100 du poids de leurs cendres.

Berthier a donné les chiffres suivants pour exprimer la proportion des *cendres* de diverses variétés de tourbes :

Tourbe de Château-Landon	15 %
— de Clermont (Oise)	17
— de Reims	7
— de Bourgoin (Isère)	7
— de Ham	12
— de Vassy	7

1. *Loc. cit.*
2. *Société industrielle d'Amiens*, 1870.

§ IV. GISEMENT DE LA TOURBE.

Caractères généraux des tourbières. — La plupart des vallées sillonnées par de faibles cours d'eau ou par de petites rivières contiennent de la tourbe, soit en amas isolés, soit avec quelque continuité. Il en existe de vastes dépôts sur l'emplacement de lacs anciens desséchés depuis des siècles.

En général, dans les tourbières on peut distinguer trois sortes principales de tourbe : 1° celle des couches superficielles dans laquelle les végétaux, à peine décomposés, sont mêlés avec du sable ou de la terre de marais, ce qu'on nomme *bouzin* en langage vulgaire ; 2° la tourbe brune chanvreuse qui conserve encore des débris de tiges et de racines ; 3° la tourbe noire, ou parfaite, dans laquelle les traces d'organisation végétale ont disparu ; elle a l'aspect du terreau noir ou quelquefois, vers les parties inférieures et humides, d'un limon mou, plastique, acquérant d'ailleurs de la solidité par une courte exposition à l'air.

Ces trois formes passent de l'une à l'autre par nuances insensibles, mais sans cesser d'occuper leur niveau relatif, d'après lequel la tourbe la plus compacte est toujours à la base du dépôt.

Quelquefois, le massif est divisé par des lits interposés de sable terreux et de cailloux ; ce sont des accidents sans importance et dont le développement est borné.

La tourbe est presque toujours pyriteuse lorsqu'elle repose sur des couches de lignite, circonstance révélée par la surface irisée des eaux qui en sortent et les sédiments ferrugineux qu'elles déposent.

Elle contient assez souvent du fer phosphaté, reconnaissable à sa couleur azurée. On y trouve en outre de grands amas de coquilles fluviatiles ou lacustres, dont les espèces vivent encore dans le pays ; des ossements de bœuf, cheval, cerf, chevreuil, sanglier, loutre, castor, etc. ; des produits, quelquefois très nombreux, de l'industrie humaine.

Ainsi, au fond de certains marais, on trouve des arbres sciés, des travaux, des routes. Au fond des marais de la Somme, on a découvert des bateaux chargés de briques ; en Suisse, dans les marais des Ponts, une voie romaine a été mise à nu.

La présence de la tourbe est indiquée par l'horizontalité presque parfaite de la superficie ; elle constitue une sorte de plafond vers la ligne médiane des vallées, du moins lorsque le dépôt a quelque importance. Lorsque la surface présente quelques inégalités, elles résultent presque toujours de matières entraînées des coteaux voisins postérieurement à la formation de l'amas tourbeux.

Les amas un peu étendus sont reconnaissables à l'élasticité du sol, très sensible dans les temps de sécheresse.

Les tourbières s'étendent fréquemment sur les débris d'une forêt. Comme les cours d'eau charrient du sable et du limon, il en résulte que les couches de combustible peuvent être séparées par des bancs de sable ou de limon amenés par le changement de niveau des eaux. Mais la tourbe et les couches de sable, de gravier et de limon sont toujours en dépôts horizontaux.

Le sol de la Hollande est formé de couches alternantes de limon, de tourbe et de sable. Soumis depuis longtemps à un affaissement insensible, il est en même temps

de la sorte exhaussé par les amas tourbeux et les atterrissements formés par ses fleuves.

Considérée au point de vue de la qualité du combustible, une tourbière présente, de haut en bas, diverses variétés de combustible. La plus superficielle, dite *tourbe mousseuse*, est à tissu lâche ; elle est formée de végétaux entrelacés à peine décomposés. Au-dessous se trouve parfois de la *tourbe feuilletée,* formée de feuilles entassées et contenant des branches et des troncs aplatis. A mesure que la profondeur augmente, la tourbe devient plus noire et plus compacte.

Certaines tourbes marneuses renferment une telle quantité de débris de coquilles fluviatiles et terrestres qu'on a de la peine à les faire brûler ; toutes les espèces auxquelles appartiennent les débris vivent encore dans les localités voisines. Les tourbes peuvent aussi contenir de nombreux débris d'insectes et surtout de coléoptère.

La tourbe s'accroît en moyenne de $0^m,60$ à $1^m,30$ par siècle. On estime qu'il suffit d'un siècle, pour la reproduction, dans les tourbières de la vallée supérieure de la Somme, d'une couche de $3^m,30$. Ce chiffre est exagéré, selon d'Archiac.

D'après M. Kolb quarante années suffisent pour former dans la vallée de la Somme une épaisseur de tourbe de 1 mètre.

De son côté M. Résal[1] estime que dans le Jura et à une altitude supérieure à 700 mètres, la tourbe augmente de $3^m,30$ par siècle. Lorsqu'on assainit une tourbière, la formation de la tourbe y est certainement entravée, parce qu'alors les plantes maréeageuses s'y développent en moindre abondance. Aussi M. Résal conseille-t-il d'obstruer les fossés d'écoulement quand l'exploitation de la tourbe est terminée. Il pense qu'une tourbière bien aménagée, qui ne pourrait donner par son asséchement que de mauvais pâturages, est, en définitive, d'un meilleur rapport qu'une futaie de sapins de même étendue.

On lit dans Rennie (l'auteur de *Carl of Aromali*), que, en 1651, quand il était encore enfant, il vit dans la paroisse de Looch-Broom et West-Rosshir, une petite plaine couverte d'une forêt de sapins. Ces arbres étaient cependant si vieux qu'ils avaient perdu leur écorce et leurs rameaux. Quinze ans après, il revint dans le même lieu, et ne vit plus d'arbres, mais seulement une plaine recouverte de mousse jaunâtre ; en 1689, enfin, il vit tout cet espace changé en un marais où l'on exploitait de la tourbe.

Van Marum prétend avoir vu se former trois pieds de houille combustible dans un bassin de son jardin en moins de cinq ans.

Aux environs de Sonthofen en Bavière, un gîte de tourbe a montré à M. Gümbel, entre les couches charbonneuses, de nombreuses intercalations de marnes sableuses remplies de débris végétaux, et notamment d'aiguilles de conifères qui présentent nettement le caractère de formations alluvionnaires ayant à diverses reprises envahi la tourbière et recouvert les dépôts de tourbe déjà formés.

Parmi les tourbes quaternaires il en est qui diffèrent si peu des tourbes actuelles qu'il a fallu, pour en reconnaître l'ancienneté, y rencontrer des débris d'animaux éteints tels que *Elephas primigenius*, *Rhinoceros tichorhinus*, *Cervus megaceros*, etc.

1. *Société d'émulation du Doubs*, 1872, t. VII, p. 448.

Au contraire, d'autres se présentent sous la forme de vrais lignites schisteux qu'on exploite dans un assez grand nombre de localités de la Suisse et de la Bavière et qui offrent des passages évidents entre la vraie tourbe et le lignite proprement dit.

Certaines parties sont encore molles comme la tourbe, tandis que d'autres sont déjà tout à fait solides et compactes, comme les lignites. Dans la masse, on trouve des rameaux ou des troncs, le plus souvent aplatis, de conifères, de bouleaux, de saules, d'aulnes, qui tantôt ont l'aspect de lignite xyloïde, tantôt sont transformés en une masse charbonneuse homogène d'aspect analogue à celui de la houille.

Conditions du tourbage. — De ses observations dans le nord de la France, d'Archiac conclut[1] : « Pour que la tourbe se forme, il faut que les eaux ne soient pas complètement stagnantes, qu'elles ne charrient pas une grande quantité de limon qu'elles soient peu sujettes à de grandes crues. Il faut en outre qu'elles soient très peu profondes, que leur mouvement soit très peu rapide, et qu'elles coulent sur un fond argileux ou peu perméable, et non sur des dépôts de transport diluviens de sable, de gravier et de cailloux roulés. Les vallées essentiellement tourbeuses, telles que celles de l'Authie, de la Somme, de l'Arlette, de l'Ourcq, de l'Essonne, des petits affluents de la rive droite de l'Oise, dans le département de ce nom, de la Brèche, du Thérain et de l'Epte au delà, sont plus ou moins tourbeuses dans leur étendue, tandis que les vallées proprement dites de l'Oise, de l'Aisne, de la Marne et de la Seine, dont les eaux coulent sur un diluvium sableux et de cailloux roulés plus ou moins épais et plus ou moins étendu sur leurs bords, ne présentent nulle part de véritable tourbe continue sur des surfaces d'une certaine importance. »

Les sphaignes jouent un rôle important dans la formation de la tourbe.

Les sphaignes sont des mousses aquatiques, vivaces, à feuilles disposées sur plusieurs rangs, blanches avec une légère teinte roussâtre, ou verdâtre. « Les espèces[2] du genre *Sphagnum*, tout en conservant entre elles une grande ressemblance, varient cependant à l'infini, suivant les circonstances d'humidité au milieu desquelles le végétal est appelé à vivre. Elles semblent se ployer à toutes les exigences de l'habitat, et se modifier suivant qu'elles plongent dans les eaux profondes, dans les mares vaseuses de la surface, ou qu'elles s'élèvent au-dessus du niveau de l'eau. La seule condition nécessaire à leur existence paraît être une certaine quantité d'humidité absorbée par la couronne ou par la tige du végétal. Dès que cette humidité leur manque, elles se dessèchent et disparaissent. En considérant les sphaignes suivant leur mode de végétation, on peut les diviser en trois groupes nettement tranchés : celles qui ne vivent qu'immergées ; celles dont la couronne est toujours au-dessus de l'eau ; celles enfin qui sont pour ainsi dire amphibies et ont, pour la même espèce, une forme aérienne et une forme immergée. »

Comme toutes les mousses et tous les cryptogames dits *acrogènes* les sphaignes croissent exclusivement par leur sommet. A mesure que la partie supérieure de la tige

1. D'Archiac : *Description géologique du département de l'Aisne*; voyez aussi du même auteur : *Histoire des progrès de la géologie*.

2. Lesquereux. *Mémoires de la Soc. des sciences naturelles de Neuchâtel*, 1844.

s'allonge, la partie inférieure meurt, se dessèche et tend à se transformer en tourbe.

Dans une nappe de sphaignes, il y a donc deux couches superposées : l'une, supérieure, en voie de végétation; l'autre, sous-jacente, déjà soumise à l'action du tourbage. Celle-ci tend sans cesse à augmenter d'épaisseur par l'addition de la couche superficielle, destinée à être à son tour recouverte par un nouveau lit de sphaignes.

La croissance des sphaignes est fort rapide ; elles se ramifient beaucoup, et, en se pressant les unes contre les autres, elles finissent par former un feutrage épais qui recouvre le sol ou constitue, au-dessus des eaux marécageuses, une espèce de plancher flottant, sur lequel se développent ensuite d'autres plantes, puis des végétaux arborescents.

M. Lesquereux a calculé qu'une seule capsule de *Sphagnum* peut contenir jusqu'à 2 690 000 spores ou graines. On se figure aisément la rapidité de leurs envahissements.

Grâce au tissu fin et délicat des sphaignes, qui pompe l'humidité à la manière des éponges, certaines tourbes desséchées peuvent absorber jusqu'à plus de douze fois leur volume d'eau. Quelle que soit la hauteur à laquelle les sphaignes croissent, quelle que soit la sécheresse de l'air, leurs tiges sont toujours humectées, et c'est ce qui rend possible la formation de la tourbe sur des pentes où l'eau ne saurait se maintenir.

« On objectera sans doute, dit M. Lesquereux, que le rôle des sphaignes n'est point universel ; en effet, dans tous les cas où l'humidité est assez grande pour empêcher la rapide décomposition du ligneux, quelle que soit d'ailleurs la cause qui la fournisse, la tourbe peut croître sans les sphaignes. Mais, malgré toutes les recherches que j'ai faites sur les hauts marais, je n'ai vu nulle part la tourbe émerger, s'élever sans le concours de ces mousses. Partout où elles disparaissent, le marais se couvre de lichens, de quelques autres espèces de mousses, de bruyères, etc., et, au lieu de la tourbe, il ne se forme plus qu'une terre noire et plus ou moins compacte suivant son âge. On trouve fréquemment, à la surface des tourbières déjà hautes et vieilles, des espaces absolument nus et dépouillés de végétation, sur lesquels la tourbe affleure à la surface. Ce sont précisément ces endroits dépouillés que les sphaignes avaient abandonnés, où d'autres végétaux ont déposé une légère couche de terre marneuse. »

Aucune espèce de mousse ne concourt à la formation de la tourbe dans les dépôts de l'Amérique méridionale. Darwin, à qui est due cette observation, indique comme remplissant un rôle analogue à celui des sphaigues la *Donatia magellanica.* « C'est, dit-il, l'agent principal de la tourbe ; les feuilles nouvelles se succèdent continuellement autour du tronc; celles du bas se pourrissent de suite, et, en suivant la racine dans la tourbe, on voit encore les feuilles conserver leur position dans les différents états de la transformation, jusqu'à ce que le tout ne forme qu'une seule masse. »

D'autres végétaux concourent à la formation de la tourbe : des mousses du genre *Hypnum*, les prêles, les joncs, les carex et quelques roseaux. Grâce à leurs tiges traçantes, ces plantes envahissent rapidement le sol qui les environne et déterminent directement par leurs débris la formation d'une nappe plus ou moins épaisse de tourbe. Elles préparent aussi l'établissement des tourbières en s'avançant

graduellement des bords vers le centre d'un lac qu'elles finissent par combler et par transformer en marais tourbeux.

Parmi les arbres, « le bouleau vient d'abord, dit Oswald Heer, puis le pin sylvestre. Le sapin rouge s'aventure aussi çà et là dans les marais, mais il n'y prospère jamais. Les pins eux-mêmes n'y deviennent pas des arbres de haute futaie; lorsqu'ils sont parvenus à une certaine élévation et qu'ils ont un certain poids, ils percent la croûte qui les supporte ; ils s'enfoncent dans une couche sans consistance, se renversent et se transforment en tourbe comme la végétation herbacée. Le vent les déracine facilement; aussi la tourbe est-elle souvent traversée par des troncs de pins et de bouleaux qui rehaussent la somme de son pouvoir calorifique. Dans la marche que nous venons d'indiquer et que l'on peut observer dans un grand nombre de localités, la végétation arborescente apparaît comme la dernière phase de la formation de la tourbe. Il peut se faire, inversement, que la forêt précède la tourbière, quand, par quelque incident, les drains naturels d'une forêt viennent à être obstrués ou que l'écoulement des eaux se trouve gravement entravé; celles-ci se rassemblent alors dans les bas-fonds. La végétation aquatique et la production de la tourbe y commencent aussitôt. Ainsi prennent naissance les marécages de nos forêts. Les arbres environnants, arrêtés dans leur croissance, périssent les uns après les autres et, lorsqu'ils sont abattus par le vent, aucune végétation naturelle ne vient les remplacer. Le sol de la forêt s'est transformé graduellement en un sol tourbeux où les arbres se trouvent à la base de la tourbe, et contribuent à la formation de ce combustible, mais ce sont toujours les mousses, les roseaux et les plantes des marais qui fournissent la plus grande somme d'éléments. Lorsque la tourbe aura pris une certaine épaisseur, des colonies de bouleaux et de pins viendront de nouveau s'y établir. »

« L'existence antérieure des forêts, dit aussi M. Lesquereux, sur les lieux mêmes qu'occupent les marais tourbeux, est attestée par une foule d'observations. Sous un grand nombre de tourbières de l'Angleterre, on trouve des forêts entières renversées sans doute par des ouragans, puisque tous les arbres y sont couchés dans le même sens à côté des troncs encore debout et brisés à la hauteur de quelques pieds. La couronne des arbres est tournée vers le nord-est, et c'est bien du sud-ouest que soufflent en Angleterre les vents les plus violents. Ce phénomène, à peine modifié, a été également reconnu en Irlande, en Hollande et dans le nord de l'Allemagne. »

Belgrand[1] a recherché l'origine des tourbières du bassin de la Seine. Suivant lui, la tourbe des vallées ne peut se produire que dans les vallées suffisamment larges et à faibles pentes, car le développement des végétaux dont la décomposition donne naissance à la tourbe n'est possible que dans une eau peu profonde et peu agitée. Mais il faut en outre que les crues des cours d'eau ne soient ni violentes ni limoneuses. Or, cette condition n'est remplie que dans la traversée des terrains perméables. Cela posé, dans une vallée comme celle de la Seine, le volume des eaux étant insuffisant pour remplir toute la dépression du sol, celle-ci se comblera par des graviers et des limons dans la traversée des terrains imperméables, four-

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XXVI, p. 879.

nissant des affluents à crues violentes et limoneuses, tandis que la tourbe apparaîtra dans la traversée des sols perméables.

Cette théorie est confirmée par l'observation : il suffit de citer les tourbières et les marais de la Vanne, ceux de la Seine entre Troyes et Nogent, ceux de Saint-Gand et de la Somme-Soude dans le bassin de la Marne, tous situés dans la traversée de la craie blanche, terrain classique de la tourbe en Picardie; de même les tourbières de la Juine et de l'Essonne marquent la traversée des sables de Fontainebleau. De plus, la tourbe fait défaut dans les zones perméables lorsqu'il se trouve en amont des terrains imperméables qui apportent des eaux assez limoneuses pour faire sentir leur action au delà de leur point d'arrivée dans la vallée principale.

La production de la tourbe a du reste été facilitée, avant l'époque historique, par la puissante végétation forestière qui couvrait le sol de la France, en retenant les terrains meubles que les pluies entraînent plus facilement aujourd'hui qu'ils sont défrichés et cultivés.

M. Ch. Martins[1] s'est occupé du Jura neuchâtelois; il a reconnu que ces tourbières généralement établies dans les vallées longitudinales de la chaîne, reposent sur un fond imperméable formé par la boue glaciaire, en sorte que lors même que les vallées n'ont pas été barrées par des moraines et ainsi transformées en lacs jusqu'au moment de la rupture des digues, c'est toujours aux phénomènes glaciaires que ces tourbières paraissent devoir leur origine.

Pour le dire en passant, il en est, paraît-il de même, dans les Cévennes et en Auvergne. En outre la flore des tourbières des montagnes présente dans tous les pays, depuis la Laponie jusqu'aux Cévennes, une remarquable uniformité. Les types de cette flore sont ceux de la Scandinavie, et il n'est pas douteux pour M. Martins, que toutes ces tourbières, identiques quant à l'origine, ont vu leur végétation se développer à la fin de l'époque pliocène.

Certaines tourbières présentent une forme convexe : c'est qu'elles ont absorbé une trop grande quantité d'eau. Si la pression venant du fond et produite par l'eau qui afflue augmente, le sol se rompt, et les eaux, en s'écoulant, entraînent une grande quantité de tourbe.

« Dans l'air et sous l'eau, dit Liebig, le ligneux se conserve pendant un très long espace de temps sans s'altérer. L'érémacausie ou la pourriture de la partie essentielle des végétaux, à savoir : le ligneux présente un phénomène particulier, c'est que, au contact de l'oxygène de l'air, elle convertit l'oxygène en un volume égal d'acide carbonique.

« Si l'on enlève cet acide carbonique et qu'on le remplace par l'oxygène, la pourriture s'établit de nouveau; c'est-à-dire que l'oxygène se transforme de nouveau en acide carbonique. Puisque le ligneux se compose de carbone et des éléments de l'eau, on peut dire d'une manière générale que cette pourriture est identique, dans ses résultats, avec la combustion du carbone pur à des températures très élevées; ainsi le ligneux se comporte, en brûlant lentement, comme si ni son hydrogène ni son oxygène ne se trouvaient combinés avec du carbone.

« L'accomplissement de ce phénomène de combustion lente exige un temps fort

1. *Mémoires de l'Académie des sciences et lettres de Montpellier*, t. VII, p. 1.

long; la présence de l'eau en est également une condition indispensable; les alcalis en favorisent le progrès et les acides l'entravent; toutes les matières antiseptiques, l'acide sulfureux, les sels mercuriels, les huiles empyreumatiques, etc., l'arrêtent entièrement. A mesure que la pourriture du ligneux s'avance, celui-ci perd la faculté de pourrir davantage, c'est-à-dire de transformer l'oxygène ambiant en acide carbonique, de sorte qu'à la fin, il laisse une matière brune et charbonneuse qui n'a plus cette propriété. C'est là le produit final de l'érémacausie, décomposition du ligneux, produit qui forme les tourbes. »

Voici l'explication que Wiegman donne de cette décomposition : « Les transformations que subissent les plantes qui forment la tourbe ont ce résultat, que les sucs de leurs parties tendres sont chargés en ulmine, et que les filaments ligneux forment le charbon de terre, qui, mélangé à des oxydes métalliques et des terres, forme la tourbe. »

« Les végétaux, dit Einhoff, surtout les cryptogames entassés dans les contrées basses et humides, périssent et entrent en décomposition. L'éloignement de l'air libre, un haut degré d'humidité et la température maintenue constamment basse par cette humidité, impriment une direction particulière à cette décomposition et l'entretiennent. Il se forme dans la première période des matières qui empêchent une décomposition totale, et donnent naissance à de nouveaux produits, qui empêche la pourriture rapide de la masse végétale, et qui, avec le concours des autres circonstances, qu'offre cette décomposition directe, fait que, par la séparation de l'hydrogène d'avec une petite quantité de carbone, la masse végétale se rapproche toujours du charbon; et plus la tourbe est voisine de cet état, moins elle est exposée à la décomposition; elle paraît même s'y soustraire tout à fait, de sorte qu'elle reste pendant des siècles dans cet état, en énormes dépôts, sans se modifier d'une manière sensible. »

Propriétés antiseptiques de la tourbe. — En préservant les végétaux du contact de l'air atmosphérique, l'eau s'oppose à la désorganisation immédiate de leurs tissus. Elle exerce, en outre, grâce aux diverses substances qu'elle tient en dissolution, un effet qu'on a comparé à celui qui se passe dans le tannage des peaux. La nature de ces substances n'a pas encore été déterminée d'une manière précise ; on a cité, parmi elles, l'acide ulmique, le charbon résultant de la transformation lente du bois tombé au fond des marais, les résines et les gommes végétales, les acides tannique, carbonique, etc. Ces substances sont empruntées aux végétaux destinés à se convertir en tourbe ; la tourbe est elle-même une substance antiseptique, et l'on peut dire que ce combustible, dans le phénomène du tourbage, est à la fois cause et effet. Aussi les Hollandais ont-ils soin, dit-on, lorsqu'ils exploitent leurs tourbières, de ménager la couche inférieure de tourbe ; ils ont remarqué qu'elle se reconstitue alors plus facilement que lorsqu'on a mis à découvert l'argile sur laquelle le combustible repose.

Des explications existent depuis longtemps du phénomène de tourbage. En 1804, Emhof disait que, dans la formation de la tourbe, il se produit d'abord un acide qui empêche la rapide décomposition des plantes. Pour Sprengel, c'était l'acide ulmique; en 1821, il démontrait que les tourbes sont imprégnées d'une substance tellement antiseptique que la viande même, trempée dans l'eau saturée de cette

substance à 12°, se conserve très longtemps et finit par se décomposer sans se corrompre.

« En juin 1747, dit Lyell, dans ses *Principes de géologie*, le corps d'une femme fut trouvé à près de 2 mètres de profondeur dans un marais tourbeux de l'île d'Axholme (Lincolnshire) ; les sandales antiques qui recouvraient ses pieds offraient la preuve évidente de son enfouissement dans ce lieu depuis plusieurs siècles; et cependant ses ongles, ses cheveux et sa peau offraient à peine quelques traces d'altération. On fait aussi mention de deux corps qui, après avoir séjourné près de vingt-neuf ans dans une tourbe humide où ils avaient été enterrés à 1 mètre de profondeur, en 1674, dans le Derbyshire, furent trouvés dans un état tel que la couleur de leur peau était aussi bien conservée, et leur chair aussi molle que celles d'individus morts récemment. »

L'eau des tourbières et les substances qu'elle renferme n'exercent une influence réelle, dans le tourbage, qu'au début de ce phénomène. Leur rôle se borne à mettre les végétaux à même de se conserver pendant un temps assez prolongé pour que leur transformation en combustible puisse s'opérer à la suite des réactions chimiques. Plus tard, les débris de végétaux destinés à se convertir à leur tour en combustible, les amas de sable et d'argile, la terre végétale elle-même, se superposent à la couche de tourbe primitivement formée. Ils constituent une masse suffisamment épaisse pour préserver du contact de l'air atmosphérique cette tourbe qui, sous la pression s'exerçant sur elle, devient de plus en plus compacte.

Distribution géographique des tourbières. — Les tourbières n'existent que dans les contrées froides et humides. La température moyenne la plus favorable à la formation de la houille est de 6° à 8°.

Il peut y avoir des tourbières aux sommets et sur les flancs des montagnes, ainsi que dans leurs vallées; mais elles sont établies dans des marais peu profonds, ainsi qu'on peut le constater dans les Ardennes.

C'est dans les régions basses qu'il faut chercher les plus riches tourbières.

Il y a des tourbières sous-marines qui, après avoir été formées par des végétaux terrestres, ont été recouvertes par l'Océan. Du nombre sont celles qu'on peut voir, sur toutes nos côtes, à Calais et à Grand-Camp (Calvados) par exemple.

Il en est de véritablement marines, qui sont composées en totalité ou en partie de végétaux marins, tels que *Zostera marina*, *Ficus digitatus*, etc. La presqu'île d'Œreland, près de Drontheim, consiste presque entièrement en un puissant lit de tourbe, dont la partie inférieure est formée de végétaux marins à demi décomposés, tandis que les parties supérieures ne contiennent que des plantes de marais et principalement le *Sphagnum palustre*.

La tourbe est essentiellement envahissante ; elle resserre et limite les rivières, obstrue les bois ; elle peut même amener le dessèchement de bras de mer ou de golfes peu profonds : le territoire d'Oldenbourg, jadis séparé du Holstein, tend à s'y réunir par la formation de la tourbe, le bras de mer qui existait encore en 1520 sera bientôt comblé.

Dans le nord, les tourbières sont immenses. Près de Hambourg, le *Dwels Moor* (tourbière du Diable) a une longueur de 80 kilomètres sur une largeur de 20. Dans le milieu de l'Europe et dans les vallées du Jura, leur étendue varie de quelques

mètres à quelques lieues carrées. Dans les montagnes élevées, elles n'ont quelquefois que 2 ou 3 pieds de superficie.

La limite méridionale des tourbières paraît être le 43e parallèle.

C'est sur les revers des Pyrénées que se trouvent les dépôts tourbeux les plus rapprochés de l'équateur ; vers le nord ; elles s'arrêtent là où ne vit plus la végétation ligneuse, c'est-à-dire vers le cap Nord ou le 70e degré de latitude. Dans la partie moyenne (Hollande, Irlande) de cette zone de 27° dévolue aux tourbières, le phénomène du tourbage se développe avec son maximum d'énergie.

L'altitude influe sur la distribution des tourbières aussi bien que la latitude. Les vallées des Alpes en sont remplies jusqu'à 2400 mètres. Les dépôts les plus riches des pays de plaines sont, en France, dans les landes de Bordeaux, entre la Seudre, la Charente et les Deux-Sèvres, vers l'embouchure de la Loire, où existe le grand marais de Montoire, qui a plus de 50 lieues de tour, et sur toute l'étendue du bassin de la Somme.

La surface occupée en France par les marais tourbeux exploitables est de plus de 600 000 hectares.

Les marais tourbeux de la Somme sont très importants et ont une épaisseur qui dépasse quelquefois 20 mètres. La puissance moyenne peut être portée de 8 à 10 mètres.

A l'embouchure de la Seine, près du Havre, et entre Rouen et Caudebec, se trouvent des marais importants. Les vallées traversées par les affluents de la Seine renferment des gisements fort beaux. Tels sont les marais de Bresle ; la tourbe de ces marais, situés à trois lieues de Beauvais, présente une couleur d'un gris noirâtre ; sa texture prouve qu'elle est complètement formée de végétaux ; en séchant, elle éprouve un retrait considérable.

Citons aussi les marais de l'Essonne et de la Juine (Seine-et-Oise), de l'Oise, de l'Aisne, l'Aronde, la Minette, dans la vallée d'Aumale ; l'Ourcq, l'Authie, sur une longueur de 12 lieues ; les marais des Ormes, de la Vesle, depuis Reims jusqu'à Fismes ; ceux des environs de Troyes (Aube), ceux de la Sarthe, de la Mayenne.

Les tourbières sont très communes dans le nord de l'Allemagne, en Danemark, en Angleterre et surtout en Hollande et en Islande.

Les tourbières de l'Amérique Septentrionale sont réparties de la même façon qu'en Europe, et dans l'hémisphère austral, la zone des tourbières occupe absolument la même situation que dans l'hémisphère boréal. On ne trouve pas de tourbe dans l'île de Chiloé, par 41° et 42° de latitude méridionale, quoiqu'il y ait beaucoup de marécages ; elle commence à être très abondante dans les îles de Chonos, trois degrés plus bas vers le sud.

C'est dans les îles Malouines, par le 52e degré de latitude sud que les dépôts tourbeux se montrent avec le plus d'étendue et de puissance.

Les plus anciennes tourbières sont celles d'Ulznach et de Dursen, en Suisse. La tourbe y forme une masse de 10 pieds d'épaisseur, mais les troncs d'arbre aplatis qu'elle renferme prouvent qu'elle a dû être fortement comprimée.

Elle repose sur une couche de limon placée elle-même sur la mollasse.

On y a recueilli des dents d'*Elephas antiquus* et un squelette entier de *Rhinoceros leptorhinus.* La tourbe est recouverte à Ulznach par le diluvium de la seconde période glaciaire, et à Dursen par le sable et les cailloux roulés où, dans beaucoup

d'endroits de la Suisse, on a rencontré des restes de l'*Elephas primigenius* qui a vécu après l'*Elephas antiquus*.

Toutes les tourbières connues appartiennent à l'époque post-glaciaire.

On aura une idée exacte des dépôts de tourbe par la description rapide de quelques gisements.

Département de l'Isère. — Les dépôts de tourbe se rencontrent en très grand nombre et à toutes les altitudes dans les départements de l'Isère et des Hautes-Alpes[1]; mais les seuls qui méritent une mention spéciale, en raison de leur grande étendue, sont les tourbières situées dans le département de l'Isère, aux environs de Morestel, de Bourgoin et de la Verpillière, dans les plaines marécageuses désignées ordinairement sous le nom de marais de Bourgoin. Ces marais occupent le fond d'une longue vallée, qui s'étend de l'est à l'ouest, depuis Cardon, à l'embouchure du Guiers, jusqu'à la Verpillière, et tourne ensuite au nord, jusqu'au confluent de la Bourbu. Cette vallée est à la limite du plateau calcaire de Morestel et de Crémieu, et des collines tertiaires de la Tour-du-Pin et de Bourgoin; c'est une vallée de dénudation, creusée probablement par un bras du Rhône, antérieurement à la période glaciaire, et creusée de nouveau à l'époque de la retraite des glaciers. Cet ancien lit a été ensablé par le Rhône, qui l'a abandonné pour s'écouler tout entier dans les gorges de Villebois. C'est depuis cette époque que se sont formés les lits successifs de graviers, de sable et de tourbe qui constituent le sol des marais.

Dans son état actuel, la vallée marécageuse se divise en deux bassins : à l'est, celui des Avenières et de Morestel, et à l'ouest, celui de Bourgoin et de la Verpillière. Ils communiquent encore ensemble par le détroit marécageux d'Arandon, et communiquaient sans doute autrefois par-dessus les seuils calcaires peu élevé qui séparent les marais de Vézeronce d'avec ceux de Sermérieu et de Saint-Chef.

La tourbe a une épaisseur variable, qui atteint souvent plus de 3 mètres; elle s'est formée dans les bas-fonds des bassins échelonnés : partout où il y avait chute, passage d'un bassin à un autre, on trouve le gravier inférieur à une petite profondeur ou immédiatement sous la terre végétale.

L'étendue des tourbières est de 3380 hectares. L'exploitation annuelle embrasse environ 6 hectares et produit environ 30 000 mètres cubes de tourbe sèche.

Département de la Loire-Inférieure. — A l'embouchure de la Loire se trouvent les vastes marais de Montoire qui ont une surface de plus de 16 000 hectares.

Cette région, qu'on nomme la Grande-Brière[2], est une immense tourbière qui s'étend au N.-N.-O. de Montoire, dans la direction de Saint-Malo (Loire-Inférieure), sur une longueur de 15 kilomètres et une largeur de 10 kilomètres. Pendant l'hiver cette plaine est couverte d'eau. Dès que les grandes chaleurs sont arrivées, on dessèche la tourbière à l'aide de nombreux canaux d'irrigation dont on ouvre les écluses et qui se déversent dans la mer.

Dans le courant du mois d'août, pendant une période de 8 jours, il est permis à tous les habitants de venir extraire la tourbe. Armés d'un salet, instrument

1. Charles Lory. *Description géologique du Dauphiné*, 3e partie.
2. L. Godefroid. *La Nature*, 1875, 2e semestre, p. 196.

tranchant, qui a la forme d'un T, et d'un marc ou crochet, ils taillent dans la masse des mottes rectangulaires qu'ils mettent en tas pour les laisser sécher. Cette contrée, ordinairement triste et déserte, devient alors très animée; plusieurs milliers de personnes se répandent sur cette vaste plaine et y déploient une activité fiévreuse.

On extrait ainsi tous les ans jusqu'à 4 et 5 millions de tourbes que l'on brûle dans le pays ou que l'on expédie à Nantes, à Vannes et jusqu'à la Rochelle.

L'emplacement de la Grande-Brière était, croit-on, occupé par une forêt, renversée par un ouragan, vers l'an 700. Ce qui est certain, c'est qu'elle fut détruite subitement, par le fait de l'irruption de la mer qui s'est ouvert un chemin entre Saint-Nazaire et Montoire.

Il est facile de s'en convaincre en étudiant la position des nombreux troncs d'arbres renfermés dans la masse de la tourbe. Ils sont orientés, leur racine est au sud-ouest et leur tige se dirige vers le nord-est. Ce sont presque tous des chênes et des bouleaux, atteignant jusqu'à 30 pieds de longueur ; ils sont encore couchés sur un lit de feuilles carbonisées.

Au point de vue géologique, la Grande-Brière est formée des couches suivantes qui sont, en allant de la surface vers le fond :

1° Tourbe friable ou *noir de Brière* qui sert d'engrais; épaisseur moyenne $0^m,31$;

2° Tourbe ferme et pâteuse contenant de nombreux débris végétaux ; l'épaisseur oscille entre $0^m,50$ et 3 mètres ;

3° Argile ou vase de mer, avec coquilles d'eau saumâtre (cyclades), épaisseur très variable ;

4° Argile à briques réfractaires, ne contenant pas de coquilles ; épaisseur très variable ;

5° Gneiss et pegmatite.

Pendant l'été, la Grande-Brière donne lieu à des phénomènes de mirage.

Près de la Grande-Brière se trouve le marais de Lerdre. Ce marais de Lerdre s'étend sur Saint-Mars, Petit-Mars et Sine.

Il y a aussi beaucoup de tourbe dans l'arrondissement de Savenay. Toute la partie plate entre Saint-Étienne-de-Mont-Luc jusqu'à Saint-Nazaire et Pont-Château est tourbeuse.

Haut Jura. — Une étude sur les tourbières du haut Jura a été faite par M. Résal[1]. L'auteur distingue deux catégories de tourbières : 1° les premières sont immergées et résultent de la décomposition des joncées et de plantes dont la croissance est très lente ; 2° les secondes sont émergées et proviennent d'une végétation de carex (laiche) à laquelle succède celle des sphaignes et des bruyères. Ces dernières se rencontrent surtout dans le haut Jura. On conçoit du reste que l'accumulation de la tourbe doive tendre à combler le marais qui la produit et à transformer insensiblement une tourbière de la première catégorie en la deuxième.

En ce qui concerne spécialement les tourbières du haut Jura, M. Résal remarque qu'elles ne descendent généralement pas au-dessous de 700 mètres ; car à une altitude inférieure la température moyenne devient trop élevée pour que les sphaignes se développent vigoureusement. Ces tourbières, dont la flore a été étudiée

1. *Société d'émulation du Doubs*, 1872, t. VII, p. 406.

par M. Charles Martins[1], occupent le fond des vallées et des entonnoirs qui existent sur des plateaux jurassiques. Elles y forment des mamelons très peu saillants. Leur fond repose souvent soit sur le crétacé inférieur, soit sur l'oxfordien. Leur épaisseur augmente avec l'altitude ; en moyenne elle est de 2 mètres à 400 mètres d'altitude, de 4 mètres à 800 mètres et de plus de 6 mètres à 1100 mètres.

Département du Finistère. — Aux environs de Brest se trouvent aussi des marais importants.

Département de la Manche. — Dans le département de la Manche, entre Carentan et Périers, s'ouvre l'immense marais de Gorges qui, pendant l'hiver, étend ses eaux sur une longueur de plus de 5 kilomètres et sur une largeur presque aussi grande. Pendant l'été, le marais est desséché; son fonds tourbeux devient un vaste herbage où paissent plus de 10000 bêtes à cornes et chevaux, mais vers la fin de juin l'extrémité de la plaine est abandonnée pendant vingt-quatre heures aux habitants des environs. On leur permet d'extraire et de conserver pour leur usage toute la tourbe qu'ils peuvent piocher pendant ce laps de temps. Cette tourbe desséchée leur sert de combustible pendant l'hiver.

Dès la veille de ce jour d'extraction, toutes les familles se transportent sur la portion du sol qui leur est abandonnée; ils y établissent des tentes pour y dormir. Dès le lever du jour, les hommes, armés de pioches à grande surface, enlèvent des morceaux du sol tourbeux, où ils creusent ainsi des sillons. Les femmes et les enfants transportent ces morceaux de tourbe et en forment des pyramides qui s'élèvent à mesure que les heures s'écoulent. A la fin du jour, chaque famille a son amas de combustible plus ou moins gros, suivant l'activité et l'énergie des travailleurs.

Le sol tourbeux du marais de Gorges est mouvant. Les trous creusés disparaissent, et quelle que soit la quantité de tourbe extraite, la surface de la grande prairie, après avoir été inondée, revient toujours à son précédent niveau.

Département de l'Ariège. — L'Ariège possède des marais tourbeux qui permettront de continuer la fabrication des fers par la méthode catalane, car les bois deviennent rares.

Dans les hautes montagnes du département de l'Ariège, qui sont formées par les roches primitives, M. Mussy a observé assez fréquemment, près des sources et petits cours d'eau, des amas tourbeux plus ou moins irréguliers. Ces gisements sont généralement petits, peu profonds et leur situation élevée, loin des routes et chemins praticables, rend leur exploitation à peu près impossible; quelques-uns sont assez développés, atteignent plusieurs centaines de mètres et une profondeur irrégulière de plus de 1 mètre; la tourbe est toujours très ligneuse et chargée de terre.

Les principales tourbières sont comprises dans le canton de Vicdessos; on en trouve également quelques indices aux montagnes granitiques de Saurat et de Querigut.

Autres départements. — Les départements de la Gironde, des Hautes et Basses-Pyrénées sont riches en tourbière. Les départements du Centre sont moins riches en tourbières étendues que ceux que nous venons de citer. Cependant, dans les montagnes du Puy-de-Dôme et du Cantal, on trouve des hauts marais. Le Cher, l'Indre, l'Indre-et-Loire et le Loiret, en renferment aussi; mais ce sont des marais immergés.

1. *Bulletin de la Société botanique de France*, t. XVIII, p. 406.

A l'ouest, les marais tourbeux forment une partie des côtes, surtout dans les landes de Bordeaux; entre la Seedre et la Charente, sur les bords des affluents de cette dernière se trouvent des marais d'une importance réelle, ceux de l'Isle, par exemple, et des environs de Rochefort, de la Rochelle, Saintes, Angoulême.

Département de l'Oise. — Dans la vallée de l'Oise, dit Graves[1], on ne peut indiquer comme sol tourbeux que le terrain marécageux sur lequel sont plantés les bois d'Estay, commune d'Apilly, à la limite du département. La vallée de la Verse contient de la tourbe depuis les environs de Cangies jusqu'aux prairies contiguës au faubourg d'Amiens de la ville de Noyon. Ce combustible a jusqu'à 6 mètres de puissance dans le marais de Manancourt, d'où on en a tiré de temps à autre, sans exploration régulière, en sorte que le massif est noyé; il donne un produit chanvreux souillé d'argile, ce qui en restreint beaucoup l'utilité et la valeur. Il y en a aussi un dépôt assez épais dans le vallon de Mève, depuis Bussy jusqu'à Cressonnière. Il repose sur la craie, tandis que celui de la Verse a pour base les argiles des lignites qui lui communiquent une odeur sulfureuse. La tourbe, aux approches de Noyon, est recouverte par les alluvions modernes. Le vallon de la Dive présente, vers sa ligne médiane, une bande étroite qui commence vers le village d'Évricourt et descend jusqu'au delà de Ville. Dans la vallée de l'Aronde, la tourbe recouvre près de Monchy-Humières, de Baugy et de Revenne une superficie de 25 hectares, dont l'épaisseur est de 4 à 5 mètres; elle est exploitée sans suite et sans régularité, quoique de bonne nature.

Vers le milieu du département de l'Oise, on rencontre sur la rive droite de la Nirès un vaste dépôt de tourbe qui s'étend de l'est à l'ouest, à peu près depuis le lieu où l'Oise longe la forêt de Compiègne, jusqu'aux approches de la montagne de Liancourt, dans une longueur qu'on peut évaluer à 16 000 mètres. Sa largeur moyenne est d'environ 1 kilomètre; un étranglement le divise en deux sections : celle de l'est, connue sous le nom de marais de Longueil, donne un combustible chanvreux et souillé de sable; celle de l'ouest, dite marais de Sacy-le-Grand, donne un produit de bien meilleure qualité. Le lac, aujourd'hui converti en marais, existait à l'époque de l'occupation romaine, car on rencontra dans le siècle dernier au fond de la tourbe, en exécutant des opérations de dessèchement, un bateau assez grand, chargé de tuiles à rebord qui certainement avait coulé bas; on ne saurait supposer en effet qu'il eût été apporté ainsi rempli à la surface du sol tourbeux dans lequel il se serait enfoncé. Le dépôt a pour support, tantôt des sables glauconieux, tantôt des argiles pyriteuses; il recouvre dans l'étendue du grand canal d'écoulement, un banc de fossiles de la glauconie inférieure. La tourbe proprement dite occupe une surface d'environ 1050 hectares. Sa puissance varie de 30 centimètres à 4 mètres. Le combustible est recouvert d'une sorte de terreau qui semble formé de tourbe décomposée mêlée d'effervescences; il contient des amas ou plutôt des lits assez continus de limon terreux et de coquilles. Les fossiles lacustres sont épars dans toute la masse, mais surtout à la partie inférieure : d'autres lits interposés sont formés de marnes blanches terreuses. On rencontre, dans toute l'épaisseur, des bois de cerf et de chevreuil, des cornes de bœuf, des ossements des mêmes animaux, de cheval, de cochon, de castor. On y trouve plus fréquemment des pro-

1. *Topographie géognostique de l'Oise*, p. 560.

duits industriels, et notamment des médailles, des armes et des armures romaines.

La vallée de Brèche contient de la tourbe dans presque toute sa longueur, à partir de la chapelle de Sainefontaine. La vallée du Thérain en renferme également, et au voisinage de Beauvais les prairies reposent sur un fond tourbeux qui détermine l'horizontalité si remarquable de leur plafond. Sous la ville même, l'alluvion et la couche superficielle proviennent d'anciennes constructions qui ont ensemble 3 ou 4 mètres, recouvrant un lit de tourbe noire ayant 60 centimètres d'épaisseur. Les tourbières de Nesles peuvent être considérées comme une annexe de celles du Thérain. Ce dépôt, le plus vaste du département de l'Oise, s'avance au sud-est et à l'est jusqu'à l'origine des rampes par lesquelles commencent les côteaux de la forêt de Hez ; il s'arrête juste de ce côté à la ligne où les sables et les argiles à lignites forment une légère terrasse à l'entrée des bois. Sa surface n'est pas moindre de 1800 hectares. Elle paraît représenter le fond d'un lac. D'après Graves, la coupe du terrain tourbeux, prise vers le centre du marais, où son développement paraît être le plus considérable, comprend de haut en bas les couches suivantes :

7. Limon terreux pétri de coquilles terrestres, mêlé de particules calcaires qui lui impriment une coloration blanchâtre. Il n'existe pas sur toute la surface et paraît produit par une alluvion postérieure à la formation du massif tourbeux.

6. Tourbe blanchâtre ou grise, légère, friable, souillée de sable, contenant des racines non décomposées de cypéracées et autres herbes ; elle est propre seulement à l'incinération ou préparation des cendres d'amendement. Elle contient quelquefois un excès de sable, et alors on n'en peut tirer aucun parti.

5. Tourbe grisâtre, semi compacte, avec nombreuses lymnées, planorbes, cyclades et autres mollusques fluviatiles ou lacustres.

4. Tourbe d'un brun noirâtre, chanvreuse, avec racines à moitié décomposées.

3. Tourbe noire, compacte, homogène, lourde, bitumineuse, molle au sortir des fosses, n'offrant plus de débris distincts de végétaux, contenant du fer phosphaté disséminé par nids. Cette couche et celle qui la surmonte (nº 4) constituent principalement la tourbe exploitée et se lient l'une à l'autre par des nuances graduées ; leur épaisseur, qui varie de 1 à 6 mètres, est en moyenne de 4 mètres : on y voit comme accidents, des filets irréguliers et non continus d'argile terreuse et de sable.

2. Tourbe brune, contenant des restes de végétaux ligneux, des feuilles, des fruits, des branches et des troncs de coudrier, de bouleau, d'orme ; des bois de cerf et de chevreuil, des ossements de bœuf, de sanglier, de cheval, de mouton, de chien, rarement de castor ; elle exhale quelquefois une odeur ammoniacale. Du côté de Froidmont, on y trouve, dans le voisinage, des lignites, du fer sulfuré, et du côté de Rue-de-Saint-Pierre, des arbres entiers dont le bois noirci est d'une excessive dureté, et des bois amollis devenus flexibles quoique assez épais.

1. Tourbe grise, mêlée de sable en grande proportion.

Le tout est porté par les sables argileux des lignites.

La tourbe de la vallée de l'Ourcq est assez abondante pour avoir déterminé une exploitation régulière continue. De même, la vallée de l'Epte est largement dotée. Dans les marais de Bertel, la tourbe occupe encore 20 hectares.

D'après Graves, les plantes qui entrent dans la composition habituelle des tourbes de l'Oise appartiennent surtout aux familles des mousses, des cypéracées, des équisétacées, etc. « On distingue aisément, dit-il, dans les tourbes imparfaites, des

restes de *Sphagnum*, des racines de *Carex*, de *Typha*, de *Schœnus nigricans*, d'*Eriophorum*, d'*Alisma plantago*, de *Scirpus*, de *Phragmites*, etc. »

Belgique. — En Belgique, les marais se trouvent principalement dans les environs d'Ath et d'Anvers, sur les bords de l'Escaut et de ses affluents, et surtout dans la partie appelée Campine. Le Luxembourg en renferme aussi. Mais en Hollande, ces dépôts forment presque entièrement le sol, et même, on peut dire que c'est la formation de la tourbe qui a enlevé à la mer la plus grande étendue de ce sol ; des sondages faits à Amsterdam et dans un grand nombre d'autres localités, soit pour reconnaître la puissance du dépôt tourbeux, soit, le plus souvent, en creusant des puits pour avoir de l'eau potable, ont fait rencontrer plusieurs couches de tourbes superposées, et séparées par des terrains d'alluvion ; ces sondages, ainsi que la situation des couches traversées, démontrent que la tourbe s'est formée toutes les fois que les atterrissements ont atteint une hauteur suffisante pour que la végétation ne fût pas immergée trop profondément.

Italie. — En Italie, il y a de la tourbe dans les provinces de Suse, d'Ivrée et de Novare. La plus remarquable de toutes est celle de Saint-Martin-Perosa, province d'Ivrée, qui a une étendue de 3800 hectares et une épaisseur de 3 à 9 mètres. Une autre tourbière également importante existe à Staffarda.

Le sol de la plupart des provinces du Piémont renferme aussi, sur une assez vaste étendue, des tourbières très épaisses et d'une nature généralement ligneuse.

Les tourbières sont nombreuses en Lombardie : à Crémone, Angera, Isée, Varèse ; elles occupent une surface de 100 kilomètres carrés environ.

Danemark. — Pour le Danemark, c'est surtout dans les parties nord et nord-est du Jutland que l'on rencontre de grandes tourbières.

Les tourbières des duchés de Schlewig-Holstein et de Lauenbourg sont très nombreuses, mais beaucoup moins vastes que celles du Gusland.

Les îles sont riches en tourbières. Elles se trouvent à la partie occidentale, en Schëland, au centre de l'île de Fioure, dans la partie est de l'île de Falster.

La superficie totale des tourbières du Danemark est de 35 milles carrés, c'est-à-dire 1/99 de l'étendue du royaume. La superficie des lacs, dans un grand nombre desquels la formation tourbeuse se combine, est de 15 milles carrés. Les prairies tourbeuses sont très nombreuses ; elles forment une superficie de 27 milles carrés.

Entre Aalborg et Hiarring, se trouve la grande Wildmasen (tourbière sauvage); cette tourbière n'est éloignée de Oolbourg que de 1 mille 3/4 et présente une superficie de 112 266. Deux rivières la traversent : le Leinholm, dans la partie est; la By, au nord ; des prairies inondées et des fonds mouvants entourent cette tourbière, dont l'intérieur est impraticable et inconnu; au-dessus séjourne un brouillard continuel.

Le professeur Stenstrup a étudié en 1837 le Wildmosen. On rencontre à sa surface les sphagnums détachés et assez courts, encore frais et non décomposés ; aussi la masse est-elle difficile à creuser. Cette première couche où le travail de l'ulmification n'est pas encore commencé, est de plus d'un mètre. Au-dessous de cette première couche, il s'en trouve une deuxième de 35 centimètres, formant une masse spongieuse, brune, composée essentiellement de sphaignes; puis vient la tourbe limoneuse, qui atteint de très grandes profondeurs ; au-dessous de cette deuxième couche, se trouve une masse d'eau sur laquelle elle repose. Au fond de

cette eau, se trouve une tourbe limoneuse, brune, très fine, provenant de débris de sphagnums constituant les couches supérieures. Le fond est ferme et onctueux, et donne une tourbe de très bonne qualité ; l'épaisseur est variable, suivant les points, de 2 à 3 mètres.

Au-dessous de cette tourbe brune, entre elle et le sol sur lequel repose la Wildmasen, on trouve une couche de joncées et de feuilles de 35 centimètres d'épaisseur.

Le fond est formé par des sables marins. La mer a séjourné dans les lieux occupés aujourd'hui par cette tourbière, et antérieurement à cette inondation, le pays étant couvert de forêts de bouleaux, car on rencontre une grande quantité de troncs de ces arbres dans la position verticale dans laquelle ils ont végété ; une grande partie de la surface est couverte de bruyères, interrompues par des amas de roseaux et d'ériopharum ; dans ces derniers et dans les bruyères se trouvent des buttes noirâtres formées par les sphagnums en décomposition.

Bavière. — La Bavière est riche en tourbe. Les rivages allemands de la Baltique sont aussi couverts de grands dépôts de tourbe. Le Mecklembourg, le Hanovre, le Brunswick et le nord de la Prusse ont la majeure partie de leur territoire formée par les puissants marais tourbeux qui se trouvent aux embouchures des fleuves et sur leurs bords.

Autriche. — Sur les frontières de la Bohême se trouvent les tourbières de Fichtelgebirge, près de la source du Mein. Leur élévation au-dessus du niveau de la mer est de 950 mètres ; leur profondeur varie de $2^m,50$ à $3^m,50$. Elles reposent sur un lit d'argile blanche ou de débris granitiques.

L'Autriche et la Bohême renferment d'immenses marais tourbeux. La Hongrie en a au pied des Karpathes. Enfin, les plus importants sont dans les vallées du Danube et de ses affluents.

Russie. — Les gisements tourbeux de la Russie sont gigantesques ; par exemple sur les bords de la Néva, des lacs Ladoga, Onega, Peypus, Biels et autres, sur les côtes du golfe de Finlande.

Iles Britanniques. — Il y a beaucoup de tourbe en Angleterre. En Irlande, les dépôts tourbeux atteignent une puissance de plus de 15 mètres ; dans quelques-uns même, les sondages n'ont pas indiqué le fond. Le septième au moins de l'île est formé de tourbières.

Les marais de cette région appartiennent à la formation immergée. En Écosse, aux îles Hébrides et Feroë, la tourbe couvre aussi de vastes étendues.

En Écosse, Boué a distingué[1], à l'exemple de Macculoch, outre les tourbes de lacs, des tourbes de montagnes ou de lieux peu humides, des tourbes de lieux fort humides ou légèrement marécageux, des tourbes de forêts, des tourbes des bords de la mer, et des tourbes produites par des matières semblables plus ou moins délayées dans l'eau et accumulées çà et là dans des creux.

Les tourbes de montagnes, ou celles qu'on trouve sur le sommet des montagnes, ou dans les lieux montagneux où l'écoulement des eaux a lieu, sont peu compactes et n'ont guère an delà de 30 à 60 centimètres d'épaisseur, et plus souvent beaucoup moins. Cette variété n'est pas estimée comme combustible et couvre la plupart des bruyères de l'Écosse, comme par exemple, une partie de celles du Peebleshire, où l'on rencontre aussi des tourbes marécageuses.

1. *Essai géologique sur l'Écosse*, p. 341.

Les plantes qui les forment sont peu nombreuses, car les principales sont *Erica cinerea*, *E. vulgaris*, *E. tetralix*, *Myrica gale*, *Empetrum nigrum*, *Arbutus uva-ursi*, *Vaccinium vitis-idœa*, *Juniperns communis*, *Polytrichum commune*, *Lycopodium clavatum*, *Lichen rangeferinus*, *Nardus stricta*, *Scirpus cæspitosus*, *Juncus squarrosus*, et quelques autres graminées et cypéracées moins abondantes des genres *Aira*, *Agrostis*, *Carex*, ainsi que quelques mousses et quelques lichens.

Les tourbes des lieux fort humides ou légèrement marécageux, se rapprochent de celles des bords des lacs et varient extrêmement suivant leur position, leur plus ou moins grande abondance d'eau et les saisons ; quelquefois elles sont noirâtres, peu consistantes, d'autres fois compactes et présentent la texture des fibres des végétaux ; on les rencontre à des hauteurs très différentes, et ce sont elles qui couvrent à l'ordinaire les cols bas ou les portions peu élevées des montagnes, comme par exemple l'espèce de dos arrondi qui est au sud du sommet du mont Lomond, et elles remplissent aussi le fond d'un grand nombre de vallons alpins et de tant de ces échancrures qui se trouvent sous le sommet de tant de montagnes écossaises, comme dans les monts Venue et Lomond et sur plusieurs montagnes de l'île d'Arran. Le *Sphagnum* est encore la principale plante qui forme cette espèce de tourbe, et l'on peut facilement suivre les différentes couches plus ou moins anciennes de ce végétal, dont la partie vivante doit toujours être soigneusement replacée dans les vides faits par l'exploitation, si l'on veut qu'ils se remplissent promptement de nouveau. Les autres plantes qui concourent, en Écosse, à la formation de cette espèce de tourbe sont *Erica vulgaris*, *E. tetralix*, *Myrica gale*, *Vaccinium oxycoccos*, *Eriophorum polystachium*, *E. vaginatum*, *Narthecium ossifragum;* plusieurs cypéracées des genres *Juncus*, *Schœnus*, *Scirpus*, *Carex*, en particulier les *Schœnus albus*, *S. cæspitosus*, etc.; plusieurs graminées, en particulier *Aira aquatica*, *A. cæpistosa*, *Festuca fluitans*, *Phalaris arundinacea;* *Triglochin palustris*, *Pedicularis palustris*, *P. sylvatica*, *Orchis maculata*, *O conopsœa*, *Caltha palustris*, *Hydrocotyle vulgaris*, *Anagallis tenella*, *Comarum palustre*, *Pinguicula vulgaris*, *Drosera longifolia*, *D. anglica*, *D. rotundifolia*, etc. La décomposition de matières animales paraît y produire quelquefois une petite quantité d'acide phosphorique qui se combine ensuite avec l'oxyde de fer.

Les tourbes des forêts varient extrêmement suivant la quantité des plantes qui ont servi à les produire et suivant les autres circonstances accidentelles de leur position ; elles sont formées par la décomposition de plusieurs des plantes précédentes, de beaucoup de mousses et de lichens, des feuilles et des petites branches des arbres les plus communs de l'Écosse, tels que le chêne, le pin, l'aulne, le bouleau et d'autres arbres moins ordinaires, comme l'aune, le frêne, le noisetier et différentes espèces de saules ; cette variété de tourbière est assez abondante en Écosse, sur le flanc des montagnes, par exemple dans le district de Braemar, dans les environs de Fraserburgh, dans le comté d'Aberdeen et ailleurs : elle est recouverte maintenant de bruyères et renferme un grand nombre de troncs d'arbres, coupés par la main des hommes ou tombés naturellement, et souvent ils sont d'une grosseur que l'on ne trouve que rarement dans les forêts écossaises actuellement existantes, parce que des causes politiques ont fait couper trop de bois à la fois, de manière qu'à présent les bouquets d'arbres n'ont pas l'abri qu'ils avaient autrefois et qui les garantissait des vents régnants de l'ouest et du nord.

C'est aussi dans ce genre de tourbières, qui approche le plus de certains dépôts de lignite, qu'on a trouvé des restes de mammifères qui habitaient autrefois ou qui existent encore maintenant en Écosse, ainsi que différents produits de la main des hommes, tels que des chaussures de bois, des instruments, etc.

Les tourbes des bords de la mer n'y occupent que de petites étendues et se forment quelquefois par la décomposition des plantes croissant dans les marais salants ou sur les bords marécageux des plages; les principales d'entre elles sont la *Glaux maritima*, le *Juncus maritimus*, l'*Aster trifolium*, le *Schœnus mariscus*, l'*Arenaria peploïdes*, les *Scirpius holoschœnus*, *maritimus* et *triqueter*, la *Matricaria maritima*, le *Statice armeria*, l'*Artemisia maritima*, le *Bunias cakile*, le *Chenopodium maritimum*, la *Salicornia herbacea*.

Sur les côtes du nord de l'Écosse, il y en a de ce genre qui alternent avec des sables, des marnes et des dépôts boueux, et surtout au fond des baies qui reçoivent un torrent, comme à West-Tarbel et dans l'île d'Isla, et Macculloch croit que la tourbe de cette dernière île, qui est au-dessous du sol d'alluvion, entre les baies de Greinard et de Loch-en-Daal, doit son origine à cette cause.

Dans l'île de North-Uist et ailleurs, le même géologue a cru observer une tourbe qu'il soupçonne dériver de la destruction des plantes qui vivent sur les rivages sablonneux; telles sont le *Triticum junceum*, l'*Elymus arenaria*, le *Carex arenaria*, le *Galium verum*, le *Trifolium repens*, etc. Mais de toutes les plantes maritimes, la *Zostera marina* est la plus utile pour retenir par ses longues feuilles et ses gazons sous-marins le sable et la boue, et former ainsi les dépôts d'alluvion mêlés de parties tourbeuses qui forcent la mer à reculer peu à peu.

Les tourbes formées par des matières tourbeuses accumulées par un filet d'eau douce sont d'une étendue très limitée, et on peut y faire rentrer celles que lestorrents brunâtres ou jaunâtres du nord de l'Écosse doivent produire au fond de plusieurs lacs et de plusieurs baies, en y déposant leurs matières végétales et terreuses.

La mer ne cesse de ronger les rivages des Shetland, des Orcades et des Hébrides, et en général toute la côte occidentale; et en même temps qu'elle est occupée à détruire, ses mouvements repoussent, sur quelques points des côtes, les matières d'alluvion qui se trouvent mêlées de coquillages marins : c'est ce qui arrive, par exemple, dans l'île d'Arran, entre Sliddery et Bennanhead, où ces plages sablonneuses se couvrent de lichens, puis l'*Anthemis maritima*, le *Ligusticum scoticum*, la *Pulmonaria maritima* viennent à s'y attacher, et peu à peu le sable devient un terrain propre à la culture.

Amérique du Nord. — L'Amérique septentrionale renferme des tourbières immenses. Les bords des grands lacs Michigan, Erié, Ontario, les immenses prairies tremblantes des Osages, celles qui se trouvent sur les bords du fleuve d'Hudson, de l'Ohio, du Missouri, de l'Illinois, à leurs embouchures, les marais qu'ils traversent, près de la Nouvelle-Orléans, ainsi que sur les bords des fleuves des côtes de l'est, aux environs de New-York, renferment des gîtes d'une grande profondeur.

Groënland. — Au Groënland, les habitants trouveraient une richesse dans l'exploitation de la houille ou plus exactement du lignite. Ils en brûlent quelque peu, mais ils se chauffent avec leurs lampes alimentées par l'huile de poisson, qu'ils brûlent dans des vases en pierre, ayant de la tourbe sèche pour mèche.

§ V. LES APPLICATIONS DE LA TOURBE.

Chauffage. — Comme matière combustible, la valeur de la tourbe est variable, non seulement d'un gisement à l'autre, mais encore dans le même gisement, et, sous ce rapport, il est impossible de fixer *à priori* la valeur d'une tourbière. Ce n'est qu'après des sondages réitérés et un minutieux examen des couches, qu'on peut la déterminer. Aussi la science du tourbier est-elle d'une haute importance; en effet, c'est d'elle que dépend le choix du marais, son estimation comme matière première, le lieu où il faut placer l'exploitation, et la méthode dont il convient de la conduire.

La tourbe, convenablement préparée, peut remplacer la houille, même dans l'industrie métallurgique.

Le soufre et le phosphore, qu'on rencontre parfois en petite quantité dans la tourbe, ne provenant que des tourbes marines infiniment rares, on n'a guère à craindre que le fer traité par ce combustible soit altéré par ces substances. La tourbe, dégageant une chaleur constante, on n'a jamais à en redouter ces coups de feu qui brûlent le fer ou fondent les creusets de verreries ou d'aciéries, et l'on sait que les plus beaux cristaux de Bohême s'obtiennent au feu de tourbe. En Russie, le gouvernemeut a décrété son emploi exclusif dans ses fabriques de Moscou et des autres centres industriels.

En essayant, par la litharge, la tourbe de Creme (Lombardie), M. Ottavio Ferrero[1] a constaté qu'elle perd de son pouvoir calorifique par la compression. Car à la partie supérieure de ce gîte elle donne 3,549 calories, tandis qu'elle n'en a que 3,005 à la base et seulement 2,450 quand elle a été comprimée.

Distillation de la tourbe[2]. — La tourbe soumise à une température élevée, dégage de l'eau, des carbures d'hydrogène et des gaz qu'elle renferme comme composants chimiques; le résidu solide est un charbon possédant un pouvoir calorifique très élevé et analogue par son aspect extérieur au charbon de bois.

Charbon de tourbe. — C'est de Lamberville qui, en 1671, soumit le premier la tourbe à la calcination et en obtint du charbon; mais ses essais n'eurent alors aucune suite. Cependant on les reprit à la fin du dix-huitième siècle et au commencement de celui-ci. Parmi les diverses méthodes, la première qu'employèrent les carboniseurs de tourbe fut la carbonisation en meules, analogue à celle employée pour le bois. Plus tard, on essaya de carboniser en vases clos, dont les formes varièrent presque au gré de chacun des carboniseurs, puis on creusa dans la terre des trous qu'on revêtit d'une chemise en briques. Un certain nombre de fours analogues à ceux qu'on emploie pour la fabrication du coke furent proposés, essayés et presque aussitôt abandonnés.

M. Challeton a employé des appareils dans lesquels la carbonisation se fait d'une

1. *Saggi di combustibili e minerali lombardi* (Société italienne des sciences naturelles).
2. Challeton de Brughat, *De la tourbe*, 1853.

manière progressive et continue; le charbon obtenu se refroidit lentement à l'abri du contact de l'air. On obtient de cette manière un charbon dur, à cassure métallique, sans brisé ni menu. Le chauffage de l'appareil se fait avec le gaz qui se dégage pendant l'opération et qui est en excès, car 1000 kilogrammes de tourbe donnent 286 mètres cubes de gaz proto et bicarboné.

Les produits qui se dégagent pendant la carbonisation de la tourbe, sont: du goudron, des huiles essentielles volatiles, de l'alcool analogue à l'esprit de bois, du carbonate d'ammoniaque, du gaz hydrogène proto et bicarboné plus une certaine proportion d'oxyde de carbone et d'acide carbonique.

Goudron. — Le goudron de tourbe est une matière de consistance butyreuse, exhalant une odeur empyreumatique très forte et caractéristique. Il retient toujours une quantité d'eau égale à plus de moitié de son poids, eau qui se trouve mélangée mécaniquement avec lui, et dont il est nécessaire de le séparer avant de le soumettre à la distillation.

Une fois privés de leur eau, les goudrons distillent facilement. Cette distillation commence vers 150° environ. On obtient d'abord des huiles plus légères que l'eau, puis de l'huile d'une densité à peu près égale à celle de ce liquide; ensuite des huiles plus lourdes, plus ou moins paraffinées, dans lesquelles on voit la paraffine apparaître sous forme de paillettes ou d'aiguilles de diverses grandeurs. Lorsque la température atteint 300 à 320 degrés, la paraffine apparaît en plus grande abondance; mais selon que l'opération a été poussée à un degré plus ou moins élevé, le résidu qui se trouve dans la chaudière est du brai sec, semblable à celui qu'on obtient dans la distillation de la houille, ou du graphite qui, quelquefois est cristallisé d'une manière tout à fait régulière et tout à fait semblable à celui que l'on obtient dans la distillation des huiles minérales fines.

Huiles essentielles. — Les huiles essentielles se séparent du goudron dès la distillation de la tourbe; elles apparaissent sous forme de petits flocons d'un jaune tendre, qui se liquéfient à la température de 20 à 25°. Ces huiles ont une odeur empyrameutique assez forte. Rectifiées convenablement, elles donnent des produits qui ont un écoulement facile dans les arts, car les plus volatiles dissolvent spontanément et à froid le caoutchouc et constituent le photogène, carbure d'hydrogène liquide.

Alcool. — L'alcool qu'on retire de la tourbe par distillation est tout à fait identique à celui qu'on peut retirer du bois. Sa purification et sa rectification s'opèrent de la même manière. En carbonisant en grand la tourbe, on en obtient 3 à 4 pour 100 du poids de la tourbe.

Carbonate d'ammoniaque. — Le carbonate d'ammoniaque est le produit le plus important qu'on recueille pendant la carbonisation de la tourbe. Comme il est très volatil, on doit prendre soin de le fixer en le transformant, à moins qu'on ne le destine à la fabrication de l'ammoniaque liquide On le fixe en le transformant en sulfate ou en chlorure. C'est le sulfate qu'on obtient le plus facilement, et qui sert à doser les quantités d'ammoniaque que la tourbe renferme; car c'est

un sel qui cristallise très facilement, et dont la composition est bien définie.

100 parties de tourbe rendent de 3 à 5 pour 100 de leur poids de sulfate d'ammoniaque, selon leur qualité et l'état plus ou moins avancé de la décomposition des végétaux.

Alun. — Sur les bords de l'Avelon, dans le département de l'Oise, les parties inférieures de la tourbe consistent en un sable granuleux, imprégné de sulfure de fer, où l'on trouve des troncs d'arbres de toutes dimensions, des feuilles et des fruits de noisetier couverts d'incrustations pyriteuses qui se continuent sur les galets : le fer provient des lignites wealdiens qui affleurent non loin de cet amas; la tourbe est chanvreuse, noire, un peu sulfureuse, souillée de limon. Cette alluvion pyriteuse se retrouve en face de la Haute-Touffe et elle forme un dépôt assez considérable vis-à-vis du Béquet, où elle détermina, vers 1770, la création de la première manufacture de couperose qu'ait eu la France. Un dépôt plus considérable est exploité pour couperose, près de Poincourt.

Engrais. — Dans l'Oise on exploite, vers Sacy-le-Grand, à la partie inférieure des tourbières, une sorte de limon noir qu'on pétrit et qu'on moule sur place, pour être converti, après dessèchement à l'air, en une poudre charbonneuse dont le mélange avec le produit des vidanges forme un engrais excellent.

Application médicale de la tourbe. — Il existe à Kleinschirma, village situé à 3 kilomètres de Freyberg, et presque à la surface du sol, un dépôt tourbeux peu étendu, qui offre cet intérêt qu'on en emploie, dit-on, les produits avec succès dans le traitement des affections goutteuses. Cette tourbe est brune et à demi fluide; elle exhale une odeur d'humus particulière. Pour préparer les bains thérapeutiques, on la passe au travers d'un tamis métallique suspendu dans de l'eau chaude; on verse dans la baignoire une certaine quantité du liquide brunâtre et trouble ainsi obtenu.

Les substances actives seraient, non seulement les matières dissoutes, mais aussi les particules brunes tenues en suspension et qui auraient la propriété de stimuler la peau. Pour augmenter la proportion des parties solubles il suffit d'y ajouter un peu de soude ou de potasse qui détermine la production de crénate, d'ulmate et d'autres sels.

§ VI. L'EXPLOITATION DE LA TOURBE.

L'extraction de la tourbe brute remonte aux temps les plus reculés. Pline nous dit, qu'au temps des Romains, les peuples qui habitaient les bords de la Baltique s'en chauffaient déjà. Les incendies accidentels et spontanés de quelques amas tourbeux avaient sans doute appris à ces peuples la propriété comburante de ce produit de la décomposition des plantes. Les énormes amas de cendres que l'on trouve dans certains marais ne peuvent être que les résultats de ces incendies accidentels. L'épaisseur considérable de la couche de tourbe recouvrant ces amas de cendres nous permet de leur assigner une haute antiquité. Mais à cette époque

les quantités extraites étaient minimes, et l'usage de la tourbe très restreint pendant la période romaine et le moyen âge, où elle ne servait qu'aux besoins de quelques paysans; extractions éparses alors uniquement sur des points bien rares, où les forêts n'existaient pas.

La Hollande commença au quinzième siècle l'exploitation de la tourbe qui, au dix-septième, fut importée en France. Ce fut en 1721 que Lamberville fit, le premier, extraire de la tourbe dans les marais de la Picardie. Cette extraction demeura longtemps stationnaire, et ne servait toujours qu'aux paysans des localités pour leur chauffage. Quelques usines essayèrent plus tard de s'en servir, mais les inconvénients que présentait la tourbe brute les forcèrent d'abandonner son emploi ; car elle était trop légère, trop encombrante, brûlait mal, et les fournitures étaient par trop irrégulières.

La plus ancienne méthode d'extraction se faisait à la bêche ou *petit louchet;* on enlevait ainsi des morceaux de tourbe qu'on faisait sécher. Dans cette extraction toute primitive, on ne s'enfonçait qu'à une profondeur de 1^{m},50 à 2 mètres au plus ; encore fallait-il plusieurs hommes, et écoper pendant le creusage; dès qu'on parvenait à 4 ou 5 pieds, l'eau devenait si abondante, qu'elle forçait d'abandonner l'entaille pour en faire une autre à quelques pas de là. Aussi, quand on parcourt les marais tourbeux anciennement exploités dans le nord de l'Europe, ceux de l'Allemagne, de la Russie, de la France, de la Suisse, de l'Italie, de la Bavière, de l'Autriche, de la Bohême et de la Hongrie, on est frappé de la négligence, de l'abandon, de l'incurie et de l'ignorance qui ont présidé dans tous ces pays à l'extraction du combustible. Il semble que les hommes aient pris à tâche de gaspiller, d'anéantir ces précieux dépôts. Effectivement les gîtes n'ont pas été creusés, mais fouillés dans tous les sens à de petites profondeurs, sans aucune méthode. Dans presque toutes les exploitations, on n'a pris la couche de tourbe qu'à la surface, c'est-à-dire dans la zone la plus nouvelle, celle de moins bonne qualité, et, pour lors, abandonné la portion la meilleure en la laissant sous l'eau et en la recouvrant des débris de la surface. Espérons que, dans la suite, nos descendants n'auront pas, comme nous, à déplorer le gaspillage de cette richesse combustible[1].

Aucun soin ne préside à l'extraction, qui s'arrête dès que l'eau paraît, c'est-à-dire à 1 mètre de profondeur ; et même certaines tourbières, où le niveau de l'eau était élevé étaient alors déclarées inexploitables. C'était l'enfance de l'exploitation, et cependant elle existe encore. Dans un grand nombre de localités on était obligé d'assainir d'avance le marais, ce qui était non-seulement extrêmement coûteux, mais encore nuisible à la tourbe, et rendait toute reproduction impossible; car, entre autres effets produits par le dessèchement du marais, on remarque d'abord une dépression du sol et la disparition des plantes qui servent à former la tourbe. Quand les marais sont profonds, que le niveau de l'eau ne permet pas au tireur de se placer sur la tourbe pour l'extraire, on se sert de la drague et de la puisette, ou drague hollandaise. Dans ce dernier cas, la tourbe est placée dans un bateau et conduite sur les lieux où l'on veut la mouler et l'étendre.

Le tireur la piétine d'abord dans le bateau. Il y ajoute de l'eau à l'aide d'une écope, puis la réduit en fragments moins gros; il la jette ensuite sur un plancher,

1. Challeton de Brughat, *De la tourbe*, 1858.

où les mouleurs la piétinent de nouveau. Puis ils remplissent des moules avec la main et courent étendre chaque motte sur les pourtours du marais servant d'étende. Il y a là une dépense de force très grande relativement à la production, et perte de temps ; les produits sont de mauvaise qualité, ayant bien peu d'agrégation ; aussi la bonne tourbe des couches inférieures de certains marais est-elle meilleure souvent dans son état brut et donne moins de cendres que les tourbes travaillées par ces méthodes.

On a tenté bien des fois de perfectionner l'industrie tourbière.

Les tourbes légères, spongieuses, brûlaient trop vite, ne pouvaient alimenter un foyer activé par une soufflerie, emportées qu'elles étaient par le vent de la tuyère, et n'avaient pas assez de consistance pour supporter la charge des minerais. On chercha à obvier à cet inconvénient par la compression, mais ce procédé n'est pas applicable aux tourbes anciennes. On a aussi essayé de sécher la tourbe au moyen d'un appareil chauffé à une haute température, de la réduire en poudre et de la presser à l'instant où la distillation des goudrons commence ; mais on n'y parvient qu'à grands frais, et les produits obtenus n'ont aucune densité, ils se brisent très facilement et se désagrègent au feu, comme tous ceux provenant de la compression. On tenta même des choses folles : on mélangeait à la tourbe des acides, dans le but, disait-on, d'enlever les sels calcaires qui pourraient s'y trouver à l'état de mélange. Espérant donner de la densité à leurs produits, les uns les mélangèrent avec des décoctions gélatineuses ; d'autres, avec des décoctions de graines de lin, de la gomme. Des agioteurs cherchèrent à faire de la tourbe une panacée universelle : les uns demandaient des privilèges pour faire du macadam ou du ciment avec les cendres ; d'autres cherchaient à peindre la tourbe en vert pour faire des gazons artificiels, etc. Plusieurs de ces industriels furent condamnés correctionnellement.

Pour réussir il faudrait évidemment :

1° Donner à la tourbe une densité très grande, afin d'augmenter son pouvoir calorifique en diminuant son volume ;

2° Diminuer notablement la proportion des cendres, c'est-à-dire l'amener à n'en contenir au maximum que 10 pour 100 ;

3° Faire disparaître l'odeur désagréable que la tourbe brute dégage en brûlant, ainsi que la fumée ;

4° La rendre susceptible d'être transformée en coke d'une grande densité, devant ne donner ni odeur ni fumée ;

5° Éviter, par des moyens ou des appareils de carbonisation rationnellement conçus et exécutés, les déchets et les poussiers ;

6° Recueillir et séparer, pendant la carbonisation, tous les carbures d'hydrogène liquides et gazeux qui se dégagent, afin d'en tirer parti ;

7° Enfin, élever à peu de frais, relativement à leur production, les usines destinées à opérer cette fabrication.

M. Challeton, que nous avons déjà nommé, a essayé de remplir ce programme au moyen de la préparation qu'il fait subir à la tourbe, en en séparant toutes les matières étrangères. La tourbe est ensuite distribuée par des conduits, dans des bassins fixes ou mobiles, sur la surface des marais autour de l'usine. Après avoir

été préparée par divers appareils elle se dépose dans ces petits bassins, où le feutrage s'achève. Puis, par le repos de la masse, les molécules se réunissent, se groupent et s'agrègent. Quand la tourbe a une certaine densité, que la pratique apprend à reconnaître, on la divise au moyen d'un séchoir, qui fait 50 briquettes à la fois sans les comprimer. D'après l'auteur, le pouvoir calorifique de la tourbe serait ainsi notablement augmenté; il serait double de celui des bois les plus durs, plus grand que celui de la tourbe compacte ordinaire, et différerait peu de celui de la houille et du coke.

CHAPITRE II

LE LIGNITE

§ I. CARACTÈRES PHYSIQUES DU LIGNITE.

On entend par lignite le produit de l'altération des bois à la suite d'un très long enfouissement à l'abri de l'air. Souvent la substance, déjà privée de beaucoup de principes volatils, a encore conservé jusque dans les moindres détails sa texture végétale; souvent aussi elle est devenue compacte et brillante comme le charbon de terre, ou pulvérulente comme une terre tourbeuse. Les variétés compactes et bien homogènes sont recherchées comme objet de parure et portent les noms de *jais* ou de *jayet*. Parmi les variétés pulvérulentes figure la *terre d'ombre* employée en peinture comme son nom l'indique. Le lignite trouve son type le plus pur dans le *bois bruni*; passé à l'état fossile par une décomposition dont le trait principal consiste dans la perte d'une proportion plus ou moins grande des éléments volatils. Le *lignitte commun* est noir ou brun, compact, à cassure luisante. Il présente parfois la structure du bois. Il peut être friable et même terreux. Sa pesanteur spécifique moyenne est égale à 1200.

Exposées à l'action du feu à une assez haute température, toute les variétés de lignite brûlent avec une flamme assez claire, assez longue, souvent peu fuligineuse, sans se boursoufler ni se coller comme la houille. Sans couler comme les bitumes solides lorsqu'on le distille, le lignite le plus compact fait toujours reparaître sa structure ligneuse et prouve ainsi son origine; le lignite qui ne renferme pas de pyrites répand une odeur fétide, âcre, piquante, qui n'est pas aromatique comme celle de la houille et du bitume dans les mêmes circonstances de pureté, car la présence des pyrites dans l'un et l'autre combustible produit une odeur sulfureuse différente, et due aussi à une cause différente de celle qui donne à la fumée des lignites l'odeur piquante.

Après la combustion il reste une cendre pulvérulente semblable à celle du bois, mais souvent plus abondante, plus terreuse, plus ferrugineuse, et par conséquent plutôt rougeâtre que grisâtre, et qui, suivant Mayer, renferme 3 pour 100 de potasse.

§ II. COMPOSITION CHIMIQUE DU LIGNITE.

Lignites. — Les analyses de Regnault ont fourni :

	NATURE du Combustible.	Densité.	COMPOSITION.				DÉDUCTION faite des cendres.				1000 atomes de carbone sont unis avec atomes.	
			Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	Coke donné à la calcination.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Hydrogène.	Oxygène.
Lignite parfait. Dax.	Pulvérulent.	1,272	70,49	5,59	18,93	4,99	49,1	74,19	5,88	20,15	970	207
Lignite parfait. Bouches-du-Rhône. . .	id.	1,254	63,88	4,58	18,11	13,43	41,1	73,79	5,29	26,92	878	217
Lignite parfait. Mont Meissner. . . .	id.	1,351	71,71	4,85	21,67	1,77	48,5	73,00	4,93	22,07	827	231
Lignite parfait. Basses-Alpes.	id.	1,276	70,02	5,20	21,77	3,01	49,5	72,19	5,30	22,45	910	238
Lignite imparfait. Grèce. . . .	Analogue au charbon de bois.	1,185	61,20	5,00	24,78	9,02	38,9	67,28	5,49	28,23	1000	309
Lignite imparfait. Cologne. . .		1,100	63,29	4,98	26,24	5,69	36,1	66,96	5,27	27,77	964	318
Lignite imparfait. Usnach . . .		1,167	56,04	5,70	36,07	2,19	»	57,29	5,83	36,88	1247	492

Le lignite d'Usweiler a donné à l'analyse par l'oxyde de cuivre, suivant Karsten :

Carbone.	0,7710
Hydrogène.	0,0225
Oxygène.	0,1935
Cendres	0,0100
	0,9970

Depuis ces premiers travaux l'analyse des lignites a occupé un très grand nombre de chimistes, et il est indispensable de résumer ici quelques-uns de leurs résultats.

D'après M. Ogérien[1] voici la composition de divers lignites du Jura :

	I.	II.	III.	IV.
Carbone.	75.21	69.11	66.48	71.40
Oxygène et azote.	17.20	15.70	18.97	19.72
Hydrogène	4.25	3.07	3.76	4.81
Cendres.	3.75	12.12	10.79	4.07
Totaux.	100.41	100.00	100.00	100.00
Densités.	1.342	1.215	1.172	1.110

I. Est un stipite ressemblant à la houille, mais s'altérant très rapidement à l'air ; — des marnes irisées de Grozon.

1. *Histoire naturelle du Jura*, t. I, p. 328.

II. Est un stipite pur du lias de Château-Châlon.

III. Est un stipite du jurassique moyen de Vaudioux.

IV. Est un lignite du terrain tertiaire d'Orbagna dans la Bresse.

On voit que la densité de ces combustibles augmente avec leur âge et qu'en même temps ils s'enrichissent en carbone.

Quelques essais de lignites de l'Italie et de la Sardaigne ont donné les résultats suivants[1] :

Lignites de :	Charbon.	Matières volatiles.	Cendres.	Totaux.
La Borasina (Gênes)	32.55	47.20	20.55	100.30
Cadibona (Gênes)	46.5	47.4	6.1	100.00
Bagnasco et Nucetto	35.4	49.0	15.5	99.9
Monte Nerone	46.3	46.8	6.9	100.0
Terras de Colla (Cagliaria)	50.50	46.00	3.50	100.0

Ces lignites sont de qualité médiocre; toutefois, ils pourraient servir à fabriquer par distillation, des huiles, de la paraffine et des bitumes.

Des analyses plus précises des lignites miocènes de la Toscane ont été faites par M. d'Achiardi. Ils renferment :

	Lignite de Caniparola	Lignite de Sarzanello.	Lignite de Frontignano.
Carbone	61.62	63.54	61.56
Hydrogène	5.87	5.16	5.55
Oxygène	26.41	25.75	30.62
Azote	2.40	2.40	1.00
Cendres	3.70	3.15	1.27
	100.00	100.00	100.00

Ces lignites sont de bonne qualité et exploités par l'industrie.

M. A. H. Church[2] a analysé la matière organique du dysodil de Rott, près Bonn.

Carbone	69.01
Hydrogène	10.04
Soufre	2.35
Azote	1.70
Oxygène	16.90
	100.00

Près de Funfkirchen, en Hongrie, on trouve un lignite remarquable par sa grande richesse en charbon. Il renferme, d'après M. Neudwich[3].

Carbone	85.29
Hydrogène	5.06
Oxygène	9.65
	100.00

1. Jervis, *The mineral ressoures of central Italy*, 1867, p. 88.
2. *Jahresbericht der Chemie*, 1876, p. 1273.
3. *Neues Jahrbuch*, 1867, p. 740.

Jameson[1] a publié une analyse immédiate d'un lignite de l'île d'Arran, d'où il a extrait :

Matière extractive brune, acide soluble dans l'eau, précipitable par l'acide chlorhydrique, le chlorure de baryum, l'eau de chaux, le sulfate de fer, le sulfate de cuivre et le nitrate d'argent	20
Alumine extraite par l'ammoniaque et la soude	40
Fibres ligneuses	40
	100

Voici d'après M. Gintl[2] la composition de divers lignites de Bohême :

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.
Carbone	68.1	71.0	75.7	69.2	66.9	82.9	77.8
Hydrogène	5.5	5.2	6.8	6.4	6.5	7.7	8.3
Eau	19.5	35.1	28.5	29.8	18.9	25.6	12.6
Cendres	6.2	3.3	2.9	5.5	7.2	3.8	7.4
	99.3	114.6	113.9	110.9	99,5	100.0	106.1

I. Lignite de Chodau.
II. — de la mine Antonius, dans la vallée de David.
III. — de Haberspirk.
IV. — de Boden.
V. — de Münchhof.
VI. — brun de Reichenau.
VII. — noir de Reichenau.

Les analyses des lignites jurassiques souvent qualifiés de houille, du bassin de l'Ili, dans le Turkestan russe, ont donné à M. Mouchketoff[3] :

Carbone	61.15
Substances volatiles	24.45
Eau	9.61
Cendres	4.79
	100.00

La houille (lignite) de la vallée de Kokinessaï, à 40 kilomètres au sud de Khodjent, territoire de Sir Daria contient, d'après le même auteur :

Carbone	55.45
Substances volatiles	30.40
Eau	9.20
Cendres	4.95
	100.00

On doit à MM. Fuchs et Saladin une étude sur laquelle nous allons revenir des

1. *Journal de Schérer*, t. VII, p. 49,
2. *Verhandlungen der kk geologischen Reichsanstalt*, juillet 1872.
3. Richesse minérales du Turkestan russe (1878).

combustibles minéraux de l'Indo-Chine. Nous en détachons les analyses résumées dans le tableau suivant :

LIGNITES de l'Indo-Chine.	Matière volatile. — Eau et hydrocarbures.		Carbone fixe.	Cendres	Nature des cendres.	Pouvoir calorifique — Carbone total.
Annam. Nong-Sön	60		74,6	19,4	Argileuses..	78,8
Tong-king. Bassin de Hon-Gâc. Mine Jauréguiberry	12,6		67,4	20,0	Argileuses..	78,1
— — Marguerite	17,6		81,4	1,0	Siliceuses.	91,5
— — Henriette	13,8		79,0	7,2	Argileuses un peu ferrugineuses.	88,2
	Eau.	Hydrocarbure,				
— — Ha-Tou	10,4	37,0	51,2	1,4	Siliceuses..	76,5
— Ke-Bao, 1er cadre	8,0	25,4	61,8	4,8	Argileuses,.	79,5
— Ke-Bao, 2e cadre	10,6	26,0	59,2	4,2	Argileuses..	78,8

Divers lignites des terres arctiques ont été analysées par M. Wartha [1]. Les résultats sont donnés dans le tableau suivant :

	lignites de		
	Scansden.	Disco	Cote de Disco
Carbone	65.8	69.2	84.5
Hydrogène	5.5	4.2	7.1
Oxygène	28,7	26.6	8.6
	100.0	100.0	160.0

Ce dernier est exceptionnellement riche en carbone.

D'après M. Wartha un lignite de Scène-Bay à l'île Melville renferme :

Carbone	75.8
Hydrogène	6·6
Oxygène	17.6
	100.0

M. G. Dawson [2] a donné la composition de combustibles appartenant à divers terrains de la Colombie Britannique :

Charbon bitumeux de la vallée Nicolas, il est de bonne qualité et appartient au terrain tertiaire. On y trouve :

1. *Neues Jahrbuch*, 1867, p. 740.
2. *General note of the mines and minerals of British Columbia*, pages 18, 22, 23, 25.

Eau.	56.07
Matières volatiles.	
Carbone.	61.29
Soufre.	»
Cendres.	2.64
	100.00

Lignite tertiaire du territoire Washington. Il est d'aussi bonne qualité que celui des plaines à l'ouest des montagnes rocheuses :

Eau.	11.60
Matières volatiles.	35.49
Carbone.	45.97
Soufre.	»
Cendres.	6.44
	100.00

On connaît un lignite à Cèbu dans l'île de Manille. Sa valeur industrielle est, d'après M. Centeno, égale aux 5/6 de celle de charbon anglais de Cardiff. Il a donné à l'analyse :

Charbon.	51.2
Matières volatiles.	44.7
Cendres.	4.1
	100.0

Les bateaux à vapeur s'en servent volontiers.

Le charbon du terrain crétacé de l'île Vancouver est un lignite. Voici l'analyse de deux variétés. La seconde seule se transforme à peu près en coke par la calcination.

	I.	II.
Eau.	1.47	1.47
Matières volatiles.	32.69	28.19
Carbone.	59.55	64.05
Soufre.	»	»
Cendres.	6.29	6.29
	100.00	100.00

On connaît un petit nombre de couches de lignites propres à la fabrication du coke de bonne qualité; de plus, dans quelques usines on produit du coke en carbonisant des mélanges intimes de houilles anthraciteuses avec du brai, avec du goudron, ou avec des houilles très collantes.

En terminant ce sujet, ajoutons que les lignites doivent être examinés au laboratoire absolument de la même manière que les houilles grasses dont nous parlerons plus loin. Quand il s'agit de fabriquer du coke avec des mélanges divers, on peut obtenir par des essais, en petit des indications à peu près exactes sur les proportions de brai, de goudron ou de houille grasse qu'il convient de mélanger avec la houille anthraciteuse préparée, pour obtenir du coke résistant. Il convient de faire ces essais, par calcination, dans des creusets un peu grands, en faisant varier

les proportions des diverses matières. Il faut en outre incinérer toutes ces matières, faire l'analyse des cendres et déterminer les pertes éprouvées par calcination. Ces renseignements ne peuvent faire connaître la proportion et la qualité du coke qu'on obtiendra dans les fours, mais ils permettent d'éviter bien des tâtonnements dispendieux dans la fabrication elle-même.

§ III. ANALYSE IMMÉDIATE OU MINÉRALOGIQUE DES LIGNITES.

L'analyse minéralogique ou immédiate des lignites peut être faite par les procédés mêmes que nous avons indiqués déjà à l'occasion de la tourbe.

En étudiant les diverses variétés de ces charbons après attaque par les réactifs oxydants, on reconnaît que les parties mates sont constituées par des parcelles végétales très divisées avec des restes de feuilles et de membranes épidermiques, tandis que dans les parties brillantes on ne distingue que des fragments de bois montrant presque toujours des fibres rayées ou ponctuées et des rayons médullaires. On observe des éléments de même nature dans le fusain, qui, bien que différant de celui de la houille par sa moindre résistance à l'action des réactifs, reste cependant en partie inattaqué, même lorsqu'on fait intervenir la chaleur. Il résulte de ces observations que les lignites brillants sont constitués par des fragments de plantes à structure conservée, et spécialement par des fragments ligneux, et qu'ils renferment, interposée entre ces éléments organisés, une substance amorphe analogue au dopplérite, mais qui n'entre dans la composition de la masse que pour une part secondaire.

Il est utile de remarquer que la structure végétale ne pouvant d'ordinaire être observée que sur des fragments d'étendue très réduite, on pourrait prétendre que la masse du charbon est formée principalement d'une matière amorphe empâtant, comme éléments beaucoup moins importants, quelques débris végétaux à structure conservée ; cependant en recourant à l'incinération, on s'assure qu'en réalité toute la masse est bien constituée par des éléments organisés, principalement par des tissus ligneux et corticaux. Cette constatation peut se faire sur les variétés à cassure brillante de presque toutes les provenances, de sorte qu'on est en droit de conclure que les lits de ces *pechkohle* doivent leur origine à la prédominance des débris de bois et d'écorce. L'examen des cendres des parties mates montre, au contraire, que les débris foliacés dominent dans leur composition, et que les éléments ligneux n'y entrent que dans une proportion relativement faible.

En isolant, au moyen des acides, les feuilles transformées en charbon qui se trouvent dans les couches marneuses, on constate que leur épaisseur, comparée à celle des espèces actuelles les plus voisines, n'est guère réduite qu'à moitié ou au tiers de ce qu'elle devait être à l'état vivant. On ne saurait donc admettre qu'à la transformation en charbon des matières végétales, corresponde une contraction de volume aussi considérable que l'ont prétendu beaucoup d'auteurs qui ont supposé qu'elle pouvait aller jusqu'à 1/25 ou 1/30 de l'épaisseur primitive. On trouve, du reste, une autre preuve du peu d'importance de la compression et des déformations subies par des débris végétaux transformés en charbon, dans ce fait que les trous de vers

dont sont percés un grand nombre de bois ne présentent aucune trace d'aplatissement. Quant aux coquilles d'*Helix* qu'on rencontre écrasées et brisées dans les lignites de Bavière, elles ne sont pas plus déformées que celles qu'on observe dans beaucoup de tourbières à des profondeurs de 3 à 5 mètres seulement.

Les charbons de Hœring datent de l'éocène supérieur; les couches de combustible de ce gisement sont intercalées entre des couches marneuses certainement marines et accompagnées de couches calcaires dans lesquelles on trouve, avec des coquilles terrestres ou d'eau saumâtre, de nombreuses empreintes végétales bien conservées qui ont été décrites en détail par M. Ettingshausen.

Il paraît que ce dépôt s'est formé dans une baie dont l'eau était devenue à moitié douce et dont les rives, presque plates, étaient couvertes d'une végétation ligneuse analogue à celle des *swamps* de la Louisiane. Les débris plus ou moins décomposés provenant de cette végétation étaient entraînés par l'eau et ont ainsi donné naissance à un gîte charbonneux.

Or, en traitant par des réactifs oxydants ces charbons composés de lits à peu près également brillants, on reconnaît qu'ils sont constitués presque exclusivement par des débris de feuilles et de tissus parenchymateux. Les lits plus mats se distinguent par l'enchevêtrement de leurs éléments et par la présence d'un peu de fusain à fibres nettement ponctuées, ainsi que par une assez forte proportion d'argile mélangée. En incinérant le coke formé naturellement dans certaines parties de la mine par des incendies souterrains, on constate également que toute la masse du charbon est formée de parcelles végétales à structure conservée, parmi lesquelles dominent des restes de feuilles et de très petits fragments de bois.

Parmi les lignites il faut citer le charbon de Prévali, en Carinthie. Il est de couleur noire et formé de lits alternatifs, les uns mats, les autres très brillants. En l'étudiant à l'aide de l'acide azotique et du chlorate de potasse, M. Gumbel y a observé (fig. 20) une grande quantité de débris organisés, fragments d'épidermes et

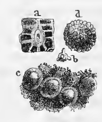


Fig. 20. — Lignite piciforme de Prévali. *a*, épiderme; *b*, grain de pollen; *c*, autres grains de pollen; *d*, spore globulaire. — D'après M. Gumbel.

débris de tissus parenchymateux, avec grains de pollen dans les parties mates et des fleurs ligneuses concentrées dans les lits brillants; il y a aussi, comme dans le pyropissite, des pellicules perforées constituées par une matière résineuse.

Aux environs de Bonn et de la Rhœn, en Bavière, on traite le *dysodile* pour en extraire de la paraffine.

Il se divise en feuillets minces comme du papier, par suite de l'interposition

d'une substance argileuse mêlée de fines particules quartzeuses dans laquelle se trouve enfermée la paraffine. L'action des réactifs oxydants ne permet d'y reconnaître qu'une très faible quantité de débris végétaux à structure cellulaire et quelques grains de pollen, avec de nombreuses pellicules brunâtres à contours irréguliers sans structure discernable, qui paraissent avoir une origine animale.

Il est probable qu'on a affaire à un dépôt formé dans un bassin d'eau douce où vivaient de nombreux animaux, dont les débris se déposaient au fond, avec de l'argile et quelques fragments de plantes à la manière de certaines formations tourbeuses.

Le *pyropissite* de Weissenfels est un type particulier de lignite terreux. Il se rattache au charbon à gaz de Falkenau, mais s'en distingue comme aspect et notamment par sa structure pulvérulente. Il est constitué par une substance d'un jaune brun qui se montre composée de petits grains irréguliers, opaques avec des débris foliaires peu nombreux, à structure conservée, appartenant à des mousses.

Le pyropissite de Sanfort a une composition analogue, mais il renferme une quantité beaucoup plus grande de restes de feuilles de mousses et de graminées, avec de gros fragments de bois à structure très visible, mais transformés comme toute la masse en une substance jaune friable. On y reconnaît des grains de pollen en nombre considérable, et l'action de l'acide azotique et du chlorate de potasse y fait découvrir une grande quantité de pellicules perforées, souvent en forme de boules, de matière résineuse.

On trouve dans les variétés terreuses de lignites, comme dans beaucoup de tourbes, des intercalations de dépôts de diatomées. Ces lignites, parmi lesquels figurent ceux de Mitterteich et ceux de Sanfort, sont constitués presque exclusivement par des débris de végétaux réduits à l'état de particules très divisées; on y discerne des portions de cuticules, des grains de pollen, des spores et parfois quelques fibres de fusain, le tout mêlé à une assez forte proportion de boue argileuse.

Les lignites compacts du Traunthal dans la haute Autriche renferment en grande quantité des fragments de fusain semblables à ceux qu'on rencontre dans la houille. Ces morceaux de fusain ont absolument le même aspect, la même irrégularité de contours que ceux de la houille ; ils colorent à peine la potasse et ne sont que partiellement attaqués par l'acide azotique et le chlorate de potasse ; — assez cependant pour qu'on puisse ensuite y distinguer nettement des fibres ligneuses à ponctuations aréolées. On trouve également du fusain dans le lignite de Falkenau et peut-être un examen attentif en ferait-il découvrir, suivant l'assertion de M. Grand'Eury, dans la plupart des lignites.

Sous ce rapport il y a continuité parfaite depuis la tourbe jusqu'à la houille en passant par tous les combustibles intermédiaires.

En général on remarque, sur la cassure transversale des lignites ordinaires, des bandes d'un charbon très compact, noir, brillant, alternant avec des lits mats ; ces bandes brillantes, étudiées au microscope, sont en lames minces, soit après attaque par les réactifs oxydants, se montrent composées principalement de fragments de bois ou du moins de parties solides de diverses plantes.

Dans quelques gîtes ces bandes brillantes se développent assez pour former de véritables bancs au milieu des couches de combustible ; elles doivent leur origine

à la prépondérance des éléments ligneux, dont l'accumulation peut être attribuée au flottage, mais plus souvent à l'existence, sur la tourbière, d'une riche végétation forestière; la preuve en est fournie par une couche, du gîte de Wackersdorf, près Schwandorf, où le dépôt a été silicifié en quelque sorte à l'état naissant; on y voit des débris ligneux, composés de ramules et de rameaux de *Glyptostrobus europeus*, alterner avec des lits plus minces formés, par tourbage, de feuilles de mousses et de graminées. Cette alternance de bandes mates et de bandes brillantes est un des caractères qu'on retrouve dans les combustibles plus anciens, comme la houille.

On doit considérer comme analyses immédiates celles dont les résultats sont consignés dans le tableau suivant :

	Lignite terreux de Schralpren par Klaproth	Lignite fibreux de Bovey par Katcheft	Lignite piciforme de Lobrano par Hech
Charbon	20	45	27
Eau et acide pyroligneux	12	30	»
Bitume huileux épais	30	10	»
Gaz hydrogène carboné	59	14,5	»
Gaz acide carbonique	8,5		»
Soufre provenant des pyrites	»	»	»
Sulfate de chaux	2,5	»	18
Sable	11,5	»	»
Oxyde de fer	1	»	23
Chaux	2	»	
Alumine	0,5	»	»

Ces analyses sont incomplètes parce qu'on a agi sur des variétés impures et mal déterminées, et parce qu'on n'avait pour but que de connaître à peu près la proportion du charbon et des bitumes, tandis qu'il fallait chercher l'état de combinaison des principes organiques, la proportion des principes éloignés et leurs produits. Cependant les idées de Vauquelin se réalisent, et l'on voit apparaître l'acide pyroacéteux par la combustion des lignites. Enfin, cette donnée est confirmée par les expériences de Mac Culloch sur les propriétés des produits comparés de la distillation du bois, de la tourbe et des lignites connus sous les noms de *jayet*, *bovey coal* et *surturbrand*. Tous ces produits renferment plus ou moins d'acide pyroacéteux, tandis qu'on ne reconnaît pas cet acide dans les produits de la distillation des bitumes, qui renferment au contraire de l'ammoniaque.

La pesanteur spécifique des lignites s'étend de 1,10 à 1,50; mais on ne doit avoir égard qu'à celle du lignite piciforme ou jayet, toutes les autres variétés étant impures ou imparfaites.

L'analyse immédiate de cinq variétés de lignites a donné les résultats suivants :

	USWEILER	ALLEMAGNE	CHARENTE	AUVERGNE	DAUPHINÉ
Charbon.	0,673	0,429	0,390	0,326	0,436
Cendres	0,009	0,046	0,110	0,100	0,074
Matières volatiles . .	0,318	0,525	0,500	0,574	0,490

Voici l'analyse de quatre autres échantillons :

	ALLEMAGNE	CHANTILLY	MENAT	BOUXWILLER
Matières combustibles. . .	0,825	0,803	0,650	0,440
Argile et sable.	0,175	0,066	0,350	0,580
Pyrite	»	0,131	»	0,030

En général, les lignites se dissolvent, comme les tourbes limoneuses, dans la potasse, et ils colorent la liqueur en brun, à la manière de l'ulmine. Ils laissent, en outre, par la distillation, un résidu charbonneux semblable à celui de la tourbe.

Les lignites terreux d'un brun foncé et à cassure mate renferment quelquefois une telle quantité de pyrites, qu'on les exploite comme minerais de couperose et d'alun, ou bien on les brûle et l'on fait des engrais avec leurs cendres.

L'analyse immédiate conduit à distinguer parmi les lignites un certain nombre de types distincts :

Le lignite piciforme commun est d'un noir luisant. Sa texture est d'une densité inégale ; sa structure est schistoïde, quelquefois fragmentaire ; elle est ligneuse, apparente ; sa pesanteur spécifique est de 1,28. Il forme souvent des bancs assez puissants, susceptibles d'une exploitation facile et avantageuse. Il se rapproche tellement de la houille qu'il n'est presque pas possible de le reconnaître extérieurement ; il faut avoir recours pour cela aux caractères chimiques, aux caractères de brûler sans se boursoufler et sans se coller, et s'aider même de circonstances géologiques.

La plupart des grands dépôts de lignites présentent cette variété, Aix, Marseille, Toulon, Vaucluse, Ruette (Ardennes), Lobsann, près Wissembourg (Alsace), Ottoweiler (pays de Berg), Saint-Saphorin (près Vevey), Pauden (près Lausanne), Kœpfnach, sur la rive gauche du lac de Zurich (Suisse) : ces lignites ont tout à fait l'apparence de la houille schisteuse. Enfin, ceux du Meisner (Hesse), des vallées d'Unstruth (Thuringe), du district de l'Inn (Autriche), de Cadibona (golfe de Gênes), et de Sarzanne, près de celui de la Spezzia en Ligurie, sont également semblables à la houille, à l'exception de celui de Sarzanne, qui présente la structure ligneuse.

Le jayet, ou pitch-coal, ou succin noir, est d'un noir luisant pur très foncé, texture dense, d'une densité égale, susceptible de poli ; structure massive, mais facile à casser.

Pesanteur spécifique . . . . { 1,26 Buisson.
{ 1,74 Leonardi.

Le jayet se trouve en lits interrompus ou en nodules dans les bancs de diverses variétés de lignites. Il ne constitue jamais de couches ou de dépôts à lui seul. Souvent même il se montre sous un assez faible volume, au milieu des lits de lignite terne ou des troncs de lignite fibreux noir. Le jayet est recherché et exploité comme objet d'ornement. On en trouve des exploitations en France dans quelques mines de charbon de terre de la Provence, dans les environs de Roquevaire, Marseille, Toulon, Peynier, Belestat (Pyrénées), au village des Bains, près Carcassonne, et dans le même département de l'Aude, à Sainte-Colombe, Peyrat et la Bastide. Il est situé à 10 ou 15 mètres de profondeur, en couches obliques, dans les bancs de grès. Ces couches ne sont ni pures ni continues. Le lignite, qui peut être taillé, se montre en masse de 25 kilogrammes au plus.

L'Espagne a offert des mines de jayet célèbres, dans les Asturies, la Galice, l'Aragon; dans ce dernier pays, celles d'Escueha Palomar sont d'une exploitation facile. Le jayet en est pur et doux au travail. On le transporte dans le midi de la France, où il est taillé et poli. On en trouve en Angleterre, près Whitby, dans une argile schisteuse et bitumineuse; en Prusse, dans un gîte où se rencontre le succin.

Le lignite terne est d'un noir brunâtre terne, quelquefois d'un noir de velours; cassure raboteuse; texture compacte ou terreuse; structure massive, schistoïde ou fragmentaire, mais non ligneuse; brûlant plus ou moins facilement avec fumée abondante, souvent fétide; laissant une assez grande quantité de résidu souvent rougeâtre; se désagrégeant facilement et se décomposant en sulfates.

Lignite terne massif. On le rencontre, sans structure apparente, en couches assez puissantes. Il est souvent l'objet d'une exploitation active, car il se trouve en bancs puissants et continus. Il est parfois accompagné de lignite piciforme commun, mais il en accompagne rarement les bancs : il paraît appartenir à des dépôts plus nouveaux, formés dans des circonstances un peu différentes de la précédente variété.

Nous citerons comme exemple le lignite de Sainte-Marguerite, près Dieppe; celui de Westphalie dit terre de Cassel; celui de l'île de Bornholm; le lignite de Soissonnais en général et celui de Putschern, près Carlsbad.

Un lignite terne schisteux accompagne souvent le lignite terne massif, et souvent aussi le lignite terne friable, à structure massive et schistoïde, mais toujours fragmentaire, à l'aspect parfois un peu luisant; décomposable et se conservant difficilement.

Ce lignite se trouve dans les départements de l'Aisne, de la Somme et de la Seine-Inférieure. Il sert à divers usages spéciaux lorsqu'il est en masses solides et qu'il est assez pur. Ne renfermant que peu de pyrites, on l'emploie comme combustible pour cuire de la chaux, pour faire des évaporations et chauffer des chaudières. Lorsqu'il n'a pas de cohérence et qu'il est impur, décomposable, renfermant des pyrites, on en retire des sulfates de fer et d'alumine par lixiviation et évaporation.

Le lignite terne et terreux est ainsi nommé à cause de son aspect; sa couleur est noir-brunâtre; il ne renferme pas de pyrites, n'est susceptible de donner ni alun ni couperose; il fournit au contraire un combustible assez bon. On le trouve à Bruhl, près de Cologne; en France, près de Château-Thierry, et dans la haute Autriche, à Walpeck.

Le lignite fibreux est clair ou brun. Son aspect est luisant ou terne, sa structure

est fibreuse, plus ou moins serrée, et laisse voir celle des végétaux dont il tire son origine. Le lignite fibreux noir a l'aspect noir du jayet et sa densité. Il est cylindroïde ou bacillaire, c'est-à-dire en baguettes déliées, contournées, entrelacées.

Le lignite fibreux brun a l'aspect terne; sa structure laisse voir parfaitement celle du bois; il est peu dur, mais tenace à la manière d'un bois dur. La variété cylindroïde fournit des indications curieuses sur l'origine des lignites.

Il est probable en effet que la variété bacillaire répond à des tiges ou à des racines d'arbre, de la famille des palmiers. Le bois fossile a l'aspect et la couleur du bois intact, mais il est d'un brun plus ou moins foncé. Il ressemble à la tourbe sous plusieurs rapports. Comme le bois, il contient beaucoup d'eau et perd jusqu'à 0,20 de son poids sans s'altérer à la température de l'eau bouillante. A la distillation, il donne la même quantité de gaz que le bois non altéré, mais il fournit moins d'eau, pas d'acide pyroligneux et plus d'alcool; la quantité de charbon qu'il laisse varie selon la température nécessaire pour la distillation.

Analyse du bois fossile de Bruhl, par Karsten :

Carbone	0,5497
Hydrogène	0,0431
Oxygène	0,2547
Cendres	0,1525
	1,0000

Il donne environ 0,380 de charbon, défalcation faite des cendres.

§ IV. GISEMENT DES LIGNITES.

Le gisement des lignites est remarquablement varié. Certains d'entre eux sont aussi récents que la tourbe, à laquelle d'ailleurs ils sont fréquemment associés; d'autres s'échelonnent dans toute l'épaisseur des formations tertiaires et secondaires jusqu'à venir, par des transitions insensibles, se relier à la houille proprement dite.

Dans une ancienne mine de Clausthal, qui ne remonte certainement pas à plus de quatre cents ans, M. Hirschwald[1] a signalé du bois de sapin qui a été complètement converti en un lignite piciforme (*pechkohle*). Ce bois a pris une couleur brune et a conservé la structure fibreuse; cependant les parties les plus modifiées ont une couleur noire, une cassure conchoïde et se laissent même écraser dans le mortier.

Des essais comparatifs du bois de sapin (I) et de ce lignite moderne (II) ont donné :

	I	II
Carbone	40	61.8
Eau	20	11.2
Cendres	0.2	13.6

La transformation du bois en lignite peut visiblement s'opérer dans une période

1. *Deutsche geologische Geselschaft*, 1873, p. 364.

relativement très courte. Toutefois il importe de faire observer que ce bois se trouvait dans des conditions exceptionnellement favorables ; car il était dans une argile schisteuse très humide ayant une température assez élevée et soumise à une forte pression; en outre, il était traversé par des eaux acides provenant de la sulfatisation des pyrites, ce qui explique pourquoi les cendres sont abondantes et riches en oxyde de fer.

On sait d'ailleurs que, dans les mines et dans les carrières, le bois subit souvent, sous l'influence de l'humidité, une décomposition qui le fait passer à une sorte de lignite friable.

Aussi n'est-il pas étonnant que les troncs d'arbres enfouis dans les tourbes soient très ordinairement transformés en lignite. Il faut donc admettre que dans beaucoup de cas, le lignite, comme la tourbe, provient de l'altération sur place de substances ligneuses.

Il n'y a d'ailleurs qu'une différence peu importante entre les lignites quaternaires et certains lignites tertiaires qui constituent le type désigné en Allemagne sous le nom de *braunkohle*.

Ces lignites sont formés de lits alternants d'une matière compacte, brune, à cassure conchoïde et d'une substance terreuse mate d'un brun jaunâtre. On distingue de temps en temps des bandes noires ou des lits de débris ligneux qui tranchent sur le reste de la masse par leur éclat ou leur couleur particulière. Quelquefois les éléments ligneux, fragments de tiges ou de rameaux à structure conservée, sont prédominants et constituent alors le *lignite xyloïde*. Enfin, dans quelques gîtes on rencontre des charbons qui, bien qu'appartenant à l'époque tertiaire et liés étroitement au *braunkohle*, ressemblent absolument par leur aspect à de la véritable houille : ce sont les *pechkohle*, qui paraissent devoir leur origine à des conditions spéciales, tandis que les *braunkohle* se rattachent directement comme composition et comme mode de formation aux lignites quaternaires.

Ces lignites paraissent formés par un enchevêtrement de débris végétaux, parmi lesquels les feuilles de graminées et les mousses dominent avec une certaine quantité d'aiguilles de conifères. Les éléments ligneux ont pris aussi une part importante à la formation de ces dépôts, mais sous forme de rameaux brisés et non encore altérés, plutôt que sous forme de débris ayant déjà subi un commencement de décomposition. On y découvre aussi, surtout en les attaquant par les réactifs oxydants, un nombre considérable de grains de pollen, des diatomées, des débris d'insectes et des spicules d'éponges. L'ensemble offre tous les caractères des dépôts de tourbières.

Le lignite renferme moins d'eau que le bois fossile. A la température de l'eau bouillante il ne perd que 0,05 de son poids. A la distillation, il donne des gaz inflammables, de l'eau acide et des huiles. Son odeur est désagréable le plus souvent. Parfois il devient fluide comme de l'huile à une température peu élevée. Ces sortes de lignites ont beaucoup de rapport avec les bitumes mous ou liquides du Bas-Rhin, de l'Aisne et des Landes.

Les lignites infusibles se trouvent dans l'argile plastique et ils ne sont pas odorants. Leur proportion de charbon dépend de leur température de distillation.

Ces lignites brûlent en général avec une flamme longue, un peu chaude et mêlée de fumée ; enfin, avec une odeur désagréable. Les matières étrangères à

l'état de mélange sont les cendres, les argiles, les sables, le carbonate de chaux et les pyrites.

Cependant, si la plupart des lignites dérivent ainsi de l'altération *sur place* de substances ligneuses, il doit y avoir eu réalisation de plusieurs mécanismes de formation, suivant les circonstances.

Par exemple, en étudiant les lignites des Montagnes Rocheuses, M. Lesquereux avait émis l'opinion qu'ils ne pouvaient être attribués qu'à des accumulations de matériaux flottés, d'abord parce qu'ils se trouvaient concentrés dans de trop petits bassins, ensuite parce qu'on n'observait jamais de traces de racines dans les argiles qui leur servent de base.

Toutefois M. Hilgard[1] a répondu à ces objections que si les marais du delta du Mississipi venaient à être recouverts d'un dépôt qui permît la transformation de la tourbe en lignite, les bassins ainsi formés seraient de tous points semblables à ceux des Montagnes Rocheuses.

En outre, le même auteur a fait observer que, bien souvent, les dépôts tourbeux se forment, non par des mousses, mais par des joncs et des roseaux qui disputent la place au sabal, au cyprès et au magnolia. A l'embouchure de la rivière de la Perle, on voit croître, à la surface d'une argile semblable à celle qui forme le mur des lignites, un jonc (*Scirpus lacustris*) dont les racines forment une couche de $0^m,30$ et pénètrent à peine dans l'argile sous-jacente. Cette argile s'accroît chaque année par l'apport des inondations, et pourtant ce n'est jamais qu'à sa surface qu'on remarque les vermiculures causées par les racines; cela prouve que ces traces disparaissent constamment, bien que la végétation se soit développée *in situ*. Pareil phénomène, selon M. Hilgard, a bien pu se produire autrefois.

D'un autre côté, les gisements de lignites accumulés par charriage sont très nombreux ; il suffit de mentionner ici ceux que l'on connaît en Islande et qui vont être décrits dans un moment.

Une opinion générale sur l'origine et le mode de formation des lignites ne saurait d'ailleurs être assise sur l'étude des lignites considérés seuls ; il faudra y revenir à l'occasion de la houille, qui sera l'objet d'un examen très attentif à cet égard.

Pour le moment nous devons surtout passer en revue un certain nombre d'exemples convenablement choisis de gîtes de lignites, sans craindre d'ajouter à la description les idées qui peuvent en résulter quant à l'origine.

Environs immédiats de Paris. — De vrais lignites sont connus à divers niveaux des terrains sur lesquels Paris est bâti. Les plus connus sont subordonnés à l'argile plastique et au calcaire grossier.

La figure 21 donne, d'après M. Hébert, une coupe représentant l'allure des lignites éocènes à Serincourt, à 5 kilomètres de Meulan. On y voit nettement leur situation au-dessus de la craie et au-dessous du calcaire grossier.

Dans le calcaire grossier parisien, une couche de lignite est comprise dans le *banc Vert*. La figure 22 montre la situation relative des diverses assises de ce terrain aux environs de Nanterre[2].

1. *American Journal*, 3e série, t. VII, p. 208.
2. Stanislas Meunier, *Géologie des environs de Paris*, p. 148.

Aux environs de Cernay-la-Ville, près de Rambouillet (fig. 23), comme à Étampes

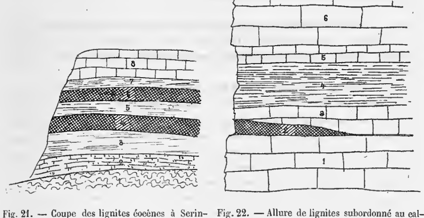


Fig. 21. — Coupe des lignites éocènes à Serincourt (Seine-et-Oise). — 8. Calcaire grossier. — 7. Argile brune. — 6. Lignite. — 5. Argile à cyrènes. — 4. Lignite et sable. — 3. Argile plastique. — 2. Conglomérat. — 1. Craie.

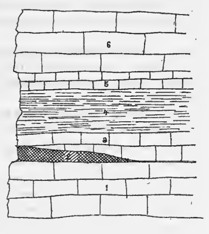


Fig. 22. — Allure de lignites subordonné au calcaire grossier parisien. — 6. Cliquart. — 5. Couche à *Cyclostoma mumia*. — 4. Couche à *Cerithium lapidum*. — 3. Couche à *Cerithium mutabile*. — 2. Lignite. — 1. Couche dite : Saint-Nom.

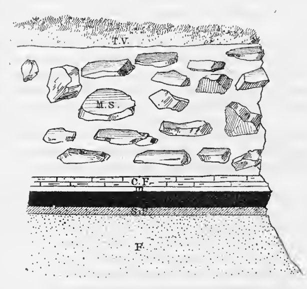


Fig. 23. — Couche de lignite subordonnée aux sables de Fontainebleau aux environs de Cernay-la-Ville (Seine-et-Oise). — TV. Terre végétale. — MS. Meulières supérieures. — CF. Calcaire fossilifère. — *m*. Marne blanche. — 4. Lignites. — SF. Sable ferrugineux (alios). — F. Sable blanc sans fossiles.

et ailleurs, des lignites couvrent l'ensemble des sables de Fontainebleau. Ils présen-

tent à Cernay cette particularité, sur laquelle j'ai insisté[1], d'être séparés du sable blanc par une couche de grès friable, à ciment ligniteux et ferrugineux, fort analogue, malgré son âge, à l'*alios* des Landes.

Oise. — Dans le département de l'Oise, le terrain à lignites qui dépend des sables du Soissonnais (suessonnien de d'Orbigny) n'est pas continu. Il constitue une collection d'amas ou de dépôts distincts, isolés les uns des autres, sans aucun ordre appréciable.

Ces amas ne sont jamais en contact immédiat avec la craie ni avec l'argile plastique proprement dits. Ils sont enfouis dans le sable qui les sépare du calcaire crayeux sous une épaisseur très variable selon les lieux, mais qui dépend surtout de l'inclinaison de la roche crayeuse au-dessous du sable, les lignites se maintenant sous un niveau à peu près égal par rapport à la surface du sol. La plupart des *cendrières* sont en effet à jour, ou montrent en affleurement l'enveloppe argileuse qui les recouvre : quelques-unes cependant sont tout à fait sous le sable.

Presque toujours les amas de lignite forment des tertres très déprimés dans les plaines ou constituent une sorte de terrasse autour des collines de calcaire grossier : le sol des vallées qu'ils occupent et des plaines qu'ils recouvrent paraît inégal ou tourmenté ; leurs argiles superficielles rendent le pays à peu près impraticable pendant la saison pluvieuse.

La forme générale des amas est lenticulaire, de façon qu'ils sont comme amincis sur tout leur pourtour ; ils se composent de lits horizontaux et alternatifs d'argile, de marnes argileuses et calcaires, de sables, de grès et de lignite proprement dit.

La réunion de tous ces éléments, pourvu que les lignites soient suffisamment abondants, forme les *cendrières*, dont les produits sont devenus si utiles aux spéculations agricoles. Mais on trouve aussi, et en grand nombre, des amas où plusieurs roches manquent, même les lignites, et d'autres dans lesquels ceux-ci sont réduits à de simples filets ou tellement mêlés de sable qu'on ne peut en tirer aucun parti.

Les environs de Noyon sont remarquablement riches en cendrières. A Muirancourt, une exploitation, célèbre par les découvertes paléontologiques qu'on y a faites, a donné à Graves[2] la coupe que voici, prise de haut en bas :

35. Argile terreuse superficielle.	0m	50c.
34. Sable argileux, varié de gris et de jaune.	0	60
33. Sable noir pyriteux.	0	50
32. Argile sableuse gris-bleuâtre maculée de jaune. .	0	60
31. Argile grise avec lit de grès ferrugineux en rognons.	1	»
30. Argile sableuse avec paludines et cyrènes.	0	70
29. Sable contenant du bois noirci ayant conservé ses formes.	0	12
28. Lignite terreux (*cordon* des ouvriers).	0	15

1 Stanislas Meunier, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXV, p. 1240.
2. *Topographie géognostique de l'Oise*, p. 266. 1847.

27. Marne argileuse bleue pétrie de mélanopsides, anodontes, cyrènes, ceritehs, etc.	0m	70c
26. Marne calcaire jaunâtre avec coquilles lacustres (*cran* des ouvriers)	0	25
25. Lignite terreux avec marne dure en fragments et pyrites orbiculaires déprimées appelées *pains* et *grézias* par les ouvriers	0	15
24. Marne blanchâtre friable contenant des coquilles lacustres et des végétaux à l'état pyriteux	0	30
23. Marne grise avec pyrite en rognons	0	06
22. Marne calcaire gris-verdâtre avec coquilles lacustres et ossements tombant en poussière	1	30
21. Argile sableuse bleuâtre	1	30
20. Marne dure sableuse, gris-noirâtre, avec coquilles lacustres, marne d'engrais	0	30
19. Marne calcaire grise pétrie de coquille et de végétaux	0	30
18. Marne pyriteuse noire	0	30
17. Lignite xyloïde ou bois pyriteux servant au chauffage	0	30
16. Lignite terreux grisâtre (*cendre blanche* des ouvriers)	0	30
15. Argile bleue	1	00
14. Lignite xyloïde employé au chauffage	0	15
13. Lignite terreux, gris blanchâtre	0	10
12. Lignite très pyriteux, terreux	0	25
11. Lignite dur cassant, très pyriteux	0	50
10. Lignite terreux (*cordon de cendres* des ouvriers)	0	30
9. Lignite pyriteux mêlé d'argile (*cendre grasse*)	0	20
8. Lignite terreux	0	30
7. Lignite terreux argileux (encore *cendre grasse*)	0	30
6. Marne brune avec fragments de lignite xyloïde et ossements de *Lophiodon, Viverra, Crocodilus*, etc., en partie à l'état pyriteux, et couverts de cristaux de blende	0	50
5. Grès noir, très dur, avec empreintes végétales	0	20
4. Argile bleue avec veines de sable gris pyriteux	8	00
3. Sable argileux ocracé	5	00
2. Sable fin, jaune verdâtre, coulant	1	00
1. Craie (épaisseur inconnue).		

Aisne. — Les lignites du département de l'Aisne se trouvent dans les vallées de la Marne, de l'Aisne, de la Lette, de l'Oise et leurs dernières traces sont à 8 kilomètres à l'ouest de Saint-Quentin. D'Archiac[1] a signalé 75 exploitations de lignites ou cendrières, dont 47 avaient lieu à ciel ouvert et immédiatement sous le diluvium ou dépôt de cailloux roulés des vallées. Parfois le lignite est recouvert par des

1. *Mémoires de la Société géologique de France*, t. V, p. 280.

bancs de grès très fossilifères comme à Urcel et qui renferment toute une faune où dominent *Cyrena cuneiformis* (Férussac), *Cardium porulosum* (Lamarck), Cérithes, Nucules et Pétoncles.

Dans la commune de Bourg, arrondissement de Laon, se trouve par exemple une mine de lignite, en deux gîtes qui ont ensemble une épaisseur de $1^{m},35$ et qu'on exploite à ciel ouvert; il est consommé dans l'usine vitriolique de Bourg.

Au centre de la forêt de Laon on trouve un petit lambeau de formation lacustre dont la stratification est très bouleversée, et les couches relevées presque verticalement sur le flanc nord du vallon, comme les calcaires de la craie qui les supportent. On y trouve une couche d'argile schisteuse, noire, contenant de petites couches de lignite. Ce combustible a été l'objet de recherches actives à la fin du siècle dernier et ces recherches ont été reprises postérieurement. La couche d'argile charbonneuse paraît assez régulière et l'on y a trouvé, à diverses hauteurs, de petites couches ou du moins des amas de *lignite;* celui-ci est quelquefois pur et de bonne qualité, mais le plus souvent ce n'est qu'une argile imprégnée de charbon et de bitume, dans la proportion de 30 ou 40 pour 100.

Yonne. — A Dixmont, le lignite se présente sous les trois formes de bois brun, de jayet et de terre d'ombre. Sous la terre végétale et sous les sables quartzeux

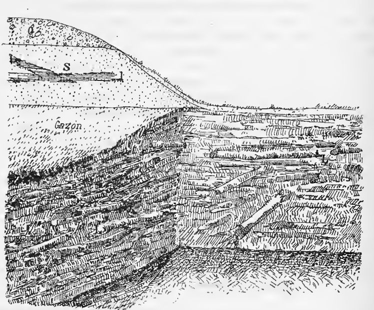


Fig. 24. — Gîte de lignites de Dixmont (Yonne). — Q. Quaternaire. — S. Sable blanc avec filets ligniteux *l*. — L. Lignite.

qu'elle recouvre, on rencontre une accumulation de combustible dont les dimensions ne sont pas connues, mais qu'on a pu retrouver à plus de 10 kilomètres de distance et percer verticalement sur une cinquantaine de mètres (fig. 24).

J'ai visité un front d'exploitation qui a 13 mètres de hauteur verticale et j'ai

parcouru une galerie horizontale de 40 mètres de long[1]. La paroi de la carrière présente un aspect tout à fait étrange ; car le bois fossile ne paraît y observer aucune disposition régulière. C'est un enchevêtrement indescriptible de gros troncs d'arbres ayant souvent 40 centimètres de diamètre et 3 mètres de long, jetés pêle-mêle, tordus les uns par les autres et souvent brisés, de façon à exposer de face au regard le faisceau de leurs fibres disjointes.

Ce gisement est connu depuis fort longtemps, car avant 1789, les moines habitant l'abbaye de l'Enfourchure de Grammont avaient commencé des recherches dans un but industriel. Neuf années plus tard, une grande tranchée fut ouverte dans le dépôt, par des spéculateurs qui procédèrent à une extraction considérable. De 1836 à 1848, des tentatives furent renouvelées. Dans un ouvrage publié en 1855[2], M. V. Raulin décrit l'état des lieux : « Alors, dit-il, on montait du fond de la vallée, d'environ 10 mètres, par un chemin creusé dans les éboulis de sable argileux jaune à silex et entamant la craie au sommet ; on continuait horizontalement et on apercevait à gauche, c'est-à-dire à l'ouest, la masse de lignite. Pour y arriver on passait d'abord sur des sables gris et un petit amas de lignite, puis on rencontrait de nouveaux sables quartzeux et siliceux très blancs, tantôt purs et tantôt argileux sans traces de bois ; au-dessus se trouvait le lignite dont la ligne de jonction paraissait inclinée de 43 degrés. Il était mis à découvert sur 12 mètres de hauteur et ne présentait aucune alternance de sable. C'est une masse brune, friable, humide, plus ou moins terreuse, dont la richesse en charbon, toujours très grande, varie cependant d'un point à l'autre. » Rien d'essentiel n'est changé aujourd'hui à cette disposition.

Ardèche. — Les couches de lignite de la craie chloritée renferment dans plusieurs localités, entre autres à Saint-Julien de Peyrolas, à Counam, au Pin et à Sogriès, commune de Vagnas (Ardèche), etc., une substance noire, fibreuse, légère, très friable et tachant les doigts, qui a la plus grande analogie avec le charbon résultant de la calcination de certains bois à tissu lâche et poreux, comme ceux du saule et du fusain. La ressemblance est si frappante qu'on pourrait croire, en voyant ces produits carbonisés détachés de leur gangue, qu'ils ont été récemment obtenus. Ces débris charbonneux sont disséminés sous forme de petits fragments anguleux dans le lignite compact, ou dans les schistes bitumineux qui l'accompagnent et au milieu desquels ils constituent même quelquefois des zones en forme de brèche, comme pourraient le faire les fragments brisés qu'on trouve sur les anciennes charbonnières.

Savoie. — Aux environs de Chambéry, se trouvent des couches de lignites exploitées à Sonnaz et à la Motte. Ces lignites ressemblent pour l'aspect à ceux de la Tour-du-Pin ; mais ils en sont bien distincts au point de vue géologique. Les végétaux et les mollusques terrestres ou fluviales qu'ils renferment, paraissent appartenir à des espèces qui vivent encore dans le pays ; on y trouve aussi des élytres d'insectes, qui se rapportent toutes à des genres indigènes, mais qui, ce-

1. Stanislas Meunier. *La Nature*, t. II de 1882, p. 373.
2. Raulin. *Statistique géologique du département de l'Yonne.*

pendant, paraissent différer, au moins comme variétés, de leurs congénères actuels.

Les bassins dont on a pu reconnaître les affleurements et qui sont recouverts par des dépôts postérieurs ont été suivis sous ces dépôts par les travaux souterrains, et l'on a pu, sinon définir leurs limites, du moins en apprécier les lignes probables[1].

Basses-Alpes. — Dans le département des Basses-Alpes, on compte plusieurs mines concédées : Dauphin, Saint-Martin de Renacas, Gaude, Rate-Farnoux, Mort-d'Imbert, Fournigue, Mont-Furon, Sainte-Croix de la Lauze, Hubais, Montaigu, Ségonce et la Rochette.

Ces concessions sont situées dans l'arrondissement de Forcalquier, et la plupart groupées autour de Manosque. Ensemble, elles embrassent une surface de 3161 hectares.

Les gîtes se trouvent dans un terrain qui paraît être supérieur à celui dans lequel sont situés les lignites des Bouches-du-Rhône. La somme des épaisseurs qu'ils présentent varie depuis 1 mètre jusqu'à 8 mètres.

Le lignite des Basses-Alpes est entièrement consommé à Forcalquier, à Manosque et dans les communes des environs de ces deux villes. On le classe en trois qualités. La meilleure est propre aux travaux de la forge; elle provient principalement des mines de Volx et de Dauphin; la qualité moyenne s'emploie au chauffage domestique, et sur la grille des chaudières dans les filatures de soie; la dernière ne sert qu'à la préparation de la chaux; elle donne une plus grande proportion de cendres que les deux autres.

Isère. — Le lignite du département de l'Isère provient des environs de la Tour-du-Pin et de Pomiers, près Voreppe. Il est consommé sur place.

Dans les terrains qui entourent la partie supérieure de la mollasse d'eau douce entre les villages de Montjoyer, de Salles et de Réauville, on voit affleurer sur plusieurs points une couche de charbon, généralement très impur, mais qui devient çà et là un lignite de bonne qualité. Des travaux ont été entrepris pour l'exploitation de ce combustible au gîte du Fraysse, où l'on a atteint une couche de lignite de $0^m,75$ d'épaisseur, par un puits de 20 mètres de profondeur : le puits a été poussé à 44 mètres plus bas, sans rencontrer d'autre couche de combustible et en restant toujours dans les calcaires d'eau douce. Le lignite était assez pur et peu sulfureux ; il était recouvert immédiatement par un lit marneux pétri de limnées et d'hélices : le défaut de consistance de ce toit et de l'ensemble du terrain est une grave difficulté pour l'exploitation.

Le gîte de lignite de Pomiers, un peu au nord de la gorge de Roize, se trouve dans les assises d'argiles et de grès fins alternant avec des bancs de poudingues.

Ce lignite forme trois petites couches, séparées par deux lits de marne sableuse, qui n'ont l'un et l'autre que $0^m,17$ d'épaisseur ; le toit est d'un grès fin, analogue à la mollasse. La couche de lignite inférieure a une épaisseur moyenne de $0^m,48$; celle du milieu à peu près autant, et la supérieure seulement $0^m,22$; c'est donc environ $1^m,20$ de puissance totale.

Le lignite est compact, peu feuilleté, à cassure conchoïde, mate ou brillante;

1. Burat. *Géologie de la France.* Paris, 1874.

c'est une variété de *jayet;* il ne montre presque jamais à l'œil nu de traces de tissus ligneux et a été produit, probablement, par une végétation herbacée de plantes aquatiques purement cellulaires ou dans lesquelles le tissu fibreux était peu développé. Il brûle facilement, avec une belle flamme, mais en répandant une odeur très désagréable ; il donne à la distillation un gaz inflammable, fétide, une eau ammoniacale et de huiles empyreumatiques épaisses.

Le charbon de la couche inférieure est le plus pur et donne en moyenne 15 pour 100 de cendres ; celui de la couche moyenne est passable; celui de la petite couche supérieure est de très mauvaise qualité. On a tenté à plusieurs reprises l'exploitation de ce gîte, en l'atteignant d'abord par un puits et en dernier lieu par une galerie d'écoulement, creusant dans la poudinque et aboutissant à l'escarpement de la gorge de Roize. Les difficultés du terrain et le manque de débouchés avantageux pour un combustible de qualité médiocre ont toujours contraint d'abandonner les exploitations [1].

Les trois couches de lignite paraissent régulières sur une assez grande étendue ; ce qui annonce qu'elles sont plutôt le produit d'une végétation locale que le résultat d'un transport. Elles contiennent des coquilles d'eau douce, qui sont surtout très abondantes dans la couche supérieure : ces coquilles sont écrasées et indéterminables spécifiquement; ce sont surtout des planorbes, avec quelques limnées et quelques hélices. On y a aussi trouvé un fragment de dent molaire de mastodonte à dents étroites, qui a été décrit par M. Charvet [2].

« Le lignite de Pommiers et les petites couches de marne et de sables fins qui l'enveloppent peuvent, dit M. Lory, être considérés d'après cela comme des dépôts formés tranquillement dans une lagune marécageuse, sur une plage de galets, temporairement séparée de la mer, comme les étangs des côtes du Languedoc, etc. Après ces dépôts, qui ne sont qu'un accident local dans la grande masse des poudingues, la mer afait une nouvelle irruption dans cette lagune et a recouvert la petite formation d'eau douce d'une nappe épaisse de galets semblable à ceux de dessous. »

Les argiles bleues et les lignites forment un groupe bien caractérisé dans une grande partie du bas Dauphiné. Aux environs de la Tour-du-Pin, il présente d'abord à sa base une assise d'argile bleue ou grisâtre qui renferme çà et là des lits sableux. L'épaisseur moyenne de cette argile est de 3 à 4 mètres; mais elle est, en quelques endroits, beaucoup plus considérable; dans la commune de Saint-Didier, un puits de 33 mètres n'a pu la traverser entièrement. Elle contient beaucoup de débris végétaux et elle devient souvent noirâtre à sa partie supérieure: elle est immédiatement recouverte par le lignite. Celle-ci forme généralement une couche unique, dont l'épaisseur moyenne est d'environ $0^{m},50$ dans les exploitations des environs de la Tour-du-Pin ; dans celle de Maubuisson, sur la commune de la Chapelle, elle est de $0^{m},60$; elle s'est élevée exceptionnellement à $0^{m},80$ à Ruijaillet, commune de Saint-Didier. En dehors de ces deux communes l'épaisseur du lignite diminue rapidement dans tous les sens.

Les lignites de la Tour-du-Pin sont formés de végétaux moyennement altérés,

1. Lory, *Description géologique du Dauphiné.*
2. *Bulletin de la Société géologique*, réunion à Grenoble, 1848.

dont la structure est encore reconnaissable. Une grande partie du combustible exploité consiste même en *bois fossiles* dont la couleur varie du brun jaunâtre au noir et dont les tiges, couchées parallèlement à la stratification, sont généralement aplaties par la pression; cependant leur tissu ligneux est assez bien conservé pour que l'on puisse en compter les couches, l'étudier au microscope et constater qu'ils appartiennent presque tous à des arbres de la famille des conifères. Une autre sorte de lignite, plus répandue encore et toujours mêlée aux gîtes de bois fossiles, est noire et se divise en feuillets minces, fragiles, sur la surface desquelles on distingue des feuilles et des tiges de plantes herbacées, marécageuses, analogues à celles qui constituent la tourbe. Cette seconde sorte de lignite donne plus de cendre et moins de flamme que les bois fossiles; le charbon obtenu par sa calcination est peu consistant; ce n'est évidemment qu'une *tourbe comprimée*, dont les parties ont été rapprochées et soudées par la pression et par une décomposition un peu plus avancée: les feuillets présentent, dans leur épaisseur, une cassure unie et conchoïde, mate ou assez brillante; la décomposition des végétaux herbacés a produit une pâte bitumineuse dans laquelle on ne peut plus distinguer les tiges et les feuilles accumulées qui ont formé le combustible. Dans d'autres endroits, l'altération est poussée au point de produire des nœuds ou des rognons de jayet noir, compact; cette particularité a été remarquée à Sainte-Blandine et à Pupetière, près Virieu. On rencontre encore, autour du Vion et sur d'autres points, un charbon minéral à fibres incohérentes, ressemblant à du fusain, à un bois léger carbonisé artificiellement. Les troncs d'arbres sont souvent en partie bitumineux dans leur partie corticale; ils sont quelquefois incrustés ou même complètement pétrifiés par de la silice, qui reproduit exactement la structure de leur tissu ligneux. Au milieu de ces accidents, on ne trouve aucun caillou, aucun grain de sable dans ce combustible, dont la pureté n'est altérée que par quelques filets calcaires ou par des argiles très divisées. Les pyrites y sont rares ou simplement accumulés sur quelques points.

Le lignite est recouvert par des poudingues à ciment sableux dont l'épaisseur est très variable par suite des dénudations. Dans quelques endroits, ils ont été presque complètement enlevés, et le lignite peut alors être exploité à ciel ouvert : c'est ce qui arrive par exemple aux limites de la Chapelle et de Faverges, près du Vion. Mais, en général, les exploitations se font par galeries, sous un toit de poudingues dont l'épaisseur va jusqu'à 20 mètres et plus. Enfin, dans les plateaux du sud et au nord-ouest de la Tour-du-Pin, le lignite disparaît sous de grandes masses de poudingues, alternant avec des lits sableux et quelques lits argileux.

Les divers affleurements des lignites des environs de la Tour-du-Pin ne constituent pas autant de petits dépôts isolés et circonscrits; leur discontinuité appareute résulte seulement, comme l'a montré Fournet, des érosions qui ont profondément entouré le sol dans les époques géologiques antérieures; on peut les considérer comme des lambeaux d'une même couche, subordonnée à une même nappe d'argile bleue. Dans les intervalles des gîtes connus, partout où l'on se trouvera à un niveau plus élevé que la nappe à laquelle ils appartiennent, on pourra toujours atteindre celle-ci par des puits dont on peut d'avance assigner à peu près la profondeur. Au contraire, partout où l'on sera en dessous du plan des affleurements

environnants, le lignite aura été emporté par la dénudation et on n'aura aucune chance de le rencontrer. C'est ainsi qu'un puits de 20 mètres de profondeur creusé sur le plateau de Charpenney, entre la Bourbie et le lac Saint-Félix, n'a rencontré que les poudingues inférieurs au lignite, parce que son ouverture était au-dessous du plan qui se raccorderait au nord et au sud avec les affleurements de Bellefontaine et de la Cassole.

Cependant, en faisant un nivellement un peu précis des divers affleurements de la Tour-du-Pin, on peut facilement constater que la couche de lignite ne forme pas un plan horizontal, ni même une surface inclinée partout dans le même sens. Elle a, en réalité, des ondulations assez prononcées, et présente des pentes et des contre-pentes en divers sens. La couche de lignite atteint ses altitudes les plus grandes sur les communes de Cessieu (424 mètres) et de Manceau (437 mètres). Elle s'amincit à mesure qu'elle s'éloigne des exploitations de la Chapelle et Saint-Didier.

Au sud et au sud-est de la Tour-du-Pin, divers indices de lignite ont été signalés jusqu'auprès du Grand-Lemps. Ces gîtes paraissent, en général, inexploitables; mais ils sont intéressants en ce qu'ils montrent l'extension très probable du même dépôt d'argile; mais ils sont intéressants en ce qu'ils montrent l'extension très probable du même dépôt de lignite, subordonné à une même nappe d'argile.

De l'autre côté de la grande vallée de la plaine de Bièvre, creusée dans les poudingues inférieurs, on retrouve l'argile bleue avec indices de lignite, sur la route de Saint-Étienne de Saint-Geoirs au col de Toute-Aures. Cette nappe d'argile alimente plusieurs tuileries. Elle passe sous les plateaux tertiaires et reparaît dans la vallée de la Galaure, à Hauterives. Là, le lignite atteint une puissance exceptionnelle. Le lignite consiste presque entièrement en bois fossiles de la famille des conifères. Il a dans les galeries une épaisseur moyenne d'environ un mètre, atteignant quelquefois jusqu'à $1^m,30$ ou $1^m,40$: cependant il paraît aller en diminuant vers l'ouest et vers le nord, et se réduit à $0^m,60$ en devenant aussi moins pur et plus feuilleté. Au-dessus de la grande couche, il y en a une seconde, de $0^m,15$ à $0^m,20$, formée aussi de bois fossiles et séparée de la première par un petit lit d'argile très constant de $0^m,06$ d'épaisseur. Puis un feuillet marneux de $0^m,10$ en moyenne, quelquefois réduit à rien, et une troisième couche de liquide impur, feuilleté, mêlé de marne, de $0^m,15$ environ. Enfin le toit des galeries est formé par une marne coquillière grise remplie d'hélices et d'autres coquilles terrestres ou d'eau douce, et contenant beaucoup de nœuds de lignites disséminés. Les déblais de ce toit, avec le lignite impur de la troisième couche et les menus des deux couches exploitées, sont brûlés en tas et donnent un bon amendement pour l'agriculture; le toit coquillier est même en partie assez calcaire pour être cuit comme pierre à chaux grasse ou un peu hydraulique.

A Saint-Bonnet, dans les grès à ciment argilo-calcaire de la montagne des Combes, se trouvent intercalées trois petites couches charbonneuses, chacune de $0^m,1$ à $0^m,2$ de puissance; dans la galerie qui a été ouverte pour en tenter l'exploitation, deux de ces couches paraissent se réunir en une seule à une faible distance de l'affleurement.

Le charbon est très impur et brûle difficilement; les parties les moins impures ont l'aspect d'une houille très maigre. M. Lory y a trouvé, sur 100 parties, 21 de

cendres, 65 de carbone et 14 de matières volatiles, ou, en considérant seulement les éléments combustibles :

Carbone	82,3
Matières volatiles	17,7
	100,0

associés à une proportion variable et toujours assez forte de cendres. Souvent il renferme beaucoup de pyrite et tombe en efflorescence vitriolique au contact de l'air.

C'est un charbon de mauvaise qualité, et comme le gîte paraît d'ailleurs très peu abondant, il n'y a guère d'espoir d'en tirer jamais un parti avantageux.

Var. — Les gîtes du département du Var (Saint-Zacharie, Peirni et Taurelle, Plan d'Aups, — arrondissement de Brignoles, — la Cadière, — arrondissement de Toulon) sont fort irréguliers et n'ont qu'une faible puissance. Le lignite que l'on en retire est consommé dans les fabriques de soude, dans les distilleries et dans les fours à plâtre d'Hyères et des cantons de Saint-Maximin et du Beausset.

Bouches-du-Rhône. — Le terrain à lignite des Bouches-du-Rhône appartient comme celui du Var à la partie inférieure de la formation tertiaire de la Provence. Il s'annonce constamment par l'odeur bitumineuse et par la contexture schisteuse du calcaire ; on n'y rencontre point de fossiles marins.

Les couches exploitables que l'on y a reconnues sont au nombre de huit. Quelques-unes n'ont que $0^m,40$ de puissance ; ensemble elles ont une épaisseur réduite le $5^m,70$.

Les produits sont consommés à Marseille, à Auriol, à Tretz, à Aix ; ils alimentent les fabriques de soude et de savon, les raffineries de sucre, les fours à chaux, et les fours à plâtre. Parmi les mines concédées, citons : Condoux, les Martigues, Tretz (arrondissement d'Aix), Greasque et Belcodène, et la grande concession (arrondissement d'Aix et de Marseille), Saint-Savourin (Sud), Bouilladisse, Auriol, Vède, Bassan, Liquette et Cardabon (arrondissement de Marseille).

Vaucluse. — Dans le département de Vaucluse, les mines de Montdragon et de Piolène (arrondissement d'Orange), de Bedoin et de Méthamis (arrondissement de Carpentras) fournissent du lignite employé au chauffage des chambres de vers à soie, à la cuisson de la chaux et à celle du plâtre.

L'épaisseur totale des gîtes reconnus varie de $3^m,70$ à 1 mètre.

Hérault. — Les lignites de l'Hérault sont exploités dans plusieurs concessions : la Cannette, Minerve, Cessiras, Oupia, Agel, Cazelles et la Mothe, Montolieu et Saint-Paul, etc.

Ces gîtes, qui appartiennent au terrain tertiaire, sont en général très minces. Le lignite est transporté à Béziers et même à Carcassonne.

Le menu est consommé dans le voisinage des mines, il sert à la préparation de de la chaux.

Aude. — Dans le département de l'Aude, les mines de Bize, de Mailhac et de Pouzols sont situées au sud-ouest de Narbonne; les gîtes sont très minces.

Gard. — Les gîtes de lignite du Gard appartiennent à la formation du calcaire tertiaire de la Provence.

A Aigaliers, à Serviers et à Montaren, la somme de leurs puissances réduites est de 3 mètres.

A Saint-Julien-de-Peyrolas et à Vénéjean, elle est de 3 mètres.

Dans les autres concessions, Figou, Victor-la-Coste, Cavillargues, le Père, la Veyre, Gaujac, Connaux, Avejan et Barzac, elle n'est que de $1^m,50$ à 1 mètre.

Les produits ne sont pas transportés au delà de 10 à 20 kilomètres des mines.

Le gros est employé au chauffage des habitations, des magnaneries et des filatures de soie; le menu ne sert qu'à la fabrication de la chaux.

Le grès vert du département du Gard fournit un lignite d'une couleur assez foncée, d'un éclat presque toujours mat. Il est très friable et s'effleurit à l'air à peine sorti de la mine. Ce n'est que rarement qu'on reconnaît les traces de son organisation végétale.

Le nombre des couches de lignite dans cette assise est très variable d'un point à un autre.

Dans le bassin de la Tare, à l'exploitation de Saint-Victor, on en compte quatre, tandis qu'à Connaux et à Jonzac, on n'en connaît que trois; au Pin il y a 6 couches exploitables, tandis que dans la partie septentrionale du même bassin, aux exploitation de Cavillargues, de Figons et de Laudun on n'en connaît que deux, mais il est probable qu'il y en a au moins une autre au-dessous, qu'on n'a pas pris la peine de rechercher.

L'épaisseur des couches est très variable, mais en général la puissance du combustible est de $0^m,50$ à $0^m,75$; elle atteint sur quelques points, comme au Puits (couche de la Minette), jusqu'à $1^m,25$.

En remontant la vallée de la Tave et en se dirigeant vers l'ouest, à partir de la concession du Mas de Carrière, l'étage à lignite devient beaucoup plus sablonneux: les assises calcaires subordonnées disparaissent et les couches de lignite vont en s'amincissant. C'est ainsi que sous la Bastide et aux environs de la Bruguière on ne rencontre plus que des affleurements charbonneux peu importants. En 1842, on pratiqua dans cette dernière commune, au quartier de l'Étang, quelques travaux de recherches qui firent connaître que la couche de combustible était inexploitable.

Ariège. — Le combustible minéral à l'état de lignite est fréquent en veinules pauvres dans l'Ariège. Il se rencontre dans deux formations:

1° Dans les marnes supraliasiques, le lignite, en petites veines dépassant rarement quelques centimètres, est associé à des schistes noirs plus ou moins charbonneux et à des amas irréguliers de minerais de fer prisolithiques; il a été constaté à Pereille, au Baqué, près de la Bastide de Seron, etc.

Le lignite des marnes supraliasiques est noir, brillant, fragile, écailleux; sa densité est 1.35; il peut servir au travail du forgeron; chauffé à l'abri de l'air, il

perd son bitume, se moule dans le vase qui le contient, et se présente sous l'aspect de masses poreuses d'un gris perlé fort analogue au coke. Il est pyriteux.

2° Le grès sableux nummulitique présente à sa base une assise de 1 à 2 mètres et parfois plus, des schistes charbonneux et pyriteux avec veinules de lignite dépassant rarement quelques centimètres. Il a été constaté à Villac-d'Aiguillaunes, Lesparron, Labastide-sur-l'Hers, les Imprions, Lherm, Labarre près Foix. Ce lignite est parfois à l'état de jayet susceptible d'être travaillé comme matière d'ornement. Il est noir brillant et fragile; sa cassure est conclusive et éclatante; il brûle bien avec flamme en donnant une odeur bitumineuse; il se ramollit, gonfle et fournit peu de cendres; il peut servir au travail du forgeron. Chauffé en vase clos, il donne un produit sans cohésion qui se désagrège facilement et n'est pas du coke.

Angleterre. — En Angleterre, il y a plusieurs gîtes de lignites remarquables par leur exploitation et leurs particularités géologiques.

Le dépôt de l'île de Sheppey, à l'embouchure de la Tamise, présente des fruits de toute sorte en grande quantité. Ils sont bien conservés, mais difficiles à déterminer avec certitude. Presque tous sont pénétrés de pyrite, et la vase qui les enveloppe a beaucoup de rapports avec l'argile plastique. Les géologues anglais le regardent comme supérieur à la craie, par conséquent de même époque de formation que le lignite du Soissonnais. Ils renferment une quantité considérable de crabes fossiles.

Le terrain de la ville de Londres renferme les débris de lignites et de résines succiniques.

L'île de Wight possède plusieurs lits de lignite terreux mêlés de végétaux.

A Newhaven, côte de Sussex, il est accompagné de fruits de la famille des palmiers, et il est recouvert par un terrain marin bien caractérisé par ses fossiles.

A Bovey, près Exeter (Devonshire), il y a un dépôt de lignite puissant de 2 à 3 mètres. Il est principalement composé de troncs d'arbres aplatis; il est d'un brun foncé et composé de lignite fibreux et de lignite piciforme qui fournit un bon combustible. On y trouve une résine particulière différente du succin, et qui représente les résines succiniques de cette formation. Il est placé sur de l'argile et recouvert par du sable.

Allemagne. — Le charbon de Deister se montre formé, comme le pechkohle et la véritable houille, de minces lits alternativement mats et brillants; faciles surtout à discerner après le traitement par un réactif oxydant. Soit après ce traitement, soit après incinération, on y reconnaît des débris de feuilles en très grand nombre et plus rarement des amas de cellules fibreuses et de tissus parenchymateux.

Le stipite de Pechgraben, près de Weyer, en Autriche, traité par l'acide azotique et le chlorate de potasse, montre nettement la texture du bois dans ses moindres détails.

Les lignites keupériens, dits *lettenkohle*, de Gaildorf en Wurtemberg, et ceux des environs de Schweinfurt en Franconie, colorent à peine la potasse, mais sont fortement attaqués par le réactif oxydant; en examinant le résidu de cette attaque on y trouve en grande quantité des tissus parenchymateux et prosenchymateux qui se dissolvent presque complètement dans l'alcool ou l'ammoniaque; il ne reste alors

que les membranes épidermiques et quelques cellules parenchymateuses. Le *lettenkohle* de Masbach présente au contraire des tissus ligneux et des débris de parenchymes végétaux en grande abondance.

Le charbon rhétien de la Theta, près de Bayreuth, possède une constitution très analogue; mais on y trouve, à côté des fibres ligneuses, beaucoup de grains de pollen, qui paraissent former à eux seuls certains lits de la masse charbonneuse.

Du jayet, du quadersanstein de Raschwitz en Silésie, examiné en plaques minces, à structure d'abord indiscernable, se montre, après traitement par les réactifs oxydants, composé de fragments ligneux dans lesquels on distingue nettement les stries transversales formées par les rayons médullaires.

Le jayet du lias de Boll, en Wurtemberg, et celui de Staffelstein, en Franconie, montrent sur des coupes minces, même sans action chimique ni incinération, la texture du bois dans toute leur masse; en examinant les cendres ou y reconnaît des cellules ponctuées et des rayons médullaires, et on constate en outre que les tissus ne présentent aucun indice d'écrasement ni de déformation.

Le jayet de l'étage rhétien de Taxsöldern, près de Schwandorf, dans le Palatinat, paraît absolument homogène, et les coupes les mieux réussies ne permettent pas d'y reconnaître la moindre trace d'organisation; mais après l'attaque par l'acide azotique et le chlorate de potasse, et mieux encore après l'incinération, on s'assure qu'il est entièrement construit par des tissus ligneux.

Il n'en est pas de même du jayet du muschelkalk de Sennefeld, en Basse-Franconie, qui paraît, par les empreintes qu'il présente, formé d'*Equisetum*. Traité par les réactifs oxydants, il tombe en petits fragments qui, examinés au microscope, se montrent composés de tissus parenchymateux et de longues cellules fibreuses. Le jayet du grès de Gröden (grès bigarré) de Neumarkt, dans le Tyrol méridional, paraît également formé dans toute sa masse de tissus parenchymateux.

En résumé, la plupart des jayets de la période secondaire, paraissent formés de tissus ligneux à structure conservée, dans lesquels les vides des cellules et les espaces intercellulaires sont remplis par une substance d'apparence amorphe plus ou moins attaquable par la potasse.

L'un des principaux gisements de lignites brillants désignés en allemand sous le nom de *pechkohle* est celui qui s'étend le long du bord septentrional de la chaîne des Alpes dans le sud de la Bavière et qui appartient à l'oligocène supérieur : on le rencontre par exemple à Miesbach, à Peusberg, à Peissenberg.

Les couches de combustible, atteignant un mètre de puissance, y sont intercalées entre des bancs marneux extrêmement épais, remplis de cyrènes, de cérithes et d'autres coquilles d'eau saumâtre, des grès à empreintes végétales et des conglomérats grossiers. Ces charbons, de couleur noire foncée, peuvent à peine se distinguer des houilles véritables. Souvent des couches de calcaire bitumineux d'un blanc jaunâtre, renfermant des coquilles terrestres et d'eau douce, alternent avec les bancs de charbon, et l'on observe parfois un passage graduel des unes aux autres. Dans le charbon lui-même on retrouve des lits de coquilles d'*Helix* habituellement brisées et écrasées. La masse charbonneuse se montre, sur une coupe transversale, formée de bandes alternatives plus mates et plus brillantes; on y rencontre du fusain qui, comme dans la véritable houille, remplit parfois certains lits de ses fragments. Enfin, comme dans la houille encore, on remarque parfois

sur la cassure, un grand nombre de cercles rapprochés simulant des coupes de tiges ligneuses, apparence qui s'observe du reste aussi quelquefois dans des masses d'argile. Les plantes dont on retrouve les empreintes dans les parties stériles du gisement, sont principalement des arbres feuillus ; les conifères ne jouent qu'un rôle secondaire.

En remontant la vallée du Rhin, on a, en Allemagne, près Cologne, les masses immenses de lignite terreux de Bruhl et de Liblar avec troncs de lignites fibreux d'arbres dicotylédones et monocotylédones, et des fruits indiquant ceux d'un palmier-cocotier ; mais ni rameaux, ni racines, ni feuilles. Ce qui indiquerait, non pas peut-être des arbres ayant vécu sur place, mais des arbres amenés par des courants d'eau.

Près Bonn, au Pitzberg, il y a un gîte de lignite remarquable sur un sol fondamental de transition. Les lits de lignite, au nombre de sept, sont interposés dans des lits d'argile sableuse, plastique, renfermant des cailloux roulés de jaspes schisteux. Dans ce lignite, on trouve des fruits ressemblant à des cônes de pin ou de mélèze, de petits grains arrondis et pyriteux, des empreintes de feuilles.

Dans la vallée du Rhin, au-dessus de Worms, on trouve de puissants dépôts de lignite dont l'époque de formation est établie par de nombreux débris de corps organisés.

Au Bastberg, au pied des Vosges et non loin de Bouxwillers (Alsace), on a longtemps exploité une puissante couche de lignite alumineux accompagné d'argile plastique bitumineuse placée sous un calcaire d'eau douce, tertiaire renfermant beaucoup de coquilles fossiles et quelques os (fig. 25). Le terrain qui contient le lignite est immédiatement superposé à l'étage de l'oolithe inférieure.

Voici comment s'y succèdent les couches[1] :

8° Terre végétale.	0^m20
7° Marne jaune..	3 00
6° Calcaire extrêmement riche en coquilles palustres et terrestres.	18 00
5° Argile marneuse verte renfermant des planorbes et d'autres coquilles palustres	12 00
4° Argile brune connue des mineurs sous le nom de *mulm*.	0 30
3° Lignite pyriteux.	1 75
2° Argile dure et sablonneuse ordinairement blanchâtre et tachetée de rouge, recouverte par une autre argile brune imperméable de $0^m,30$ environ. .	1 50
1° Calcaire oolithique (Bradford clay), épaisseur indéterminée.	

Le lignite de Bouxwillers est compact, d'une couleur chocolat clair et mat ; il appartient à la sous-espèce des lignites terreux. Au sortir de la mine, il renferme environ 10 0/0 d'eau hygroscopique qu'il abandonne au bout de quelque temps à l'air sec.

1. Daubrée. *Description géologique du Bas-Rhin*, p. 194.

De la pyrite de fer est mélangée au lignite, soit en particules très fines et non discernables à l'œil nu, soit en rognons et en veines qui atteignent souvent plusieurs décimètres. De nombreux cristaux de gypse se montrent dans les fissures qui traversent le lignite.

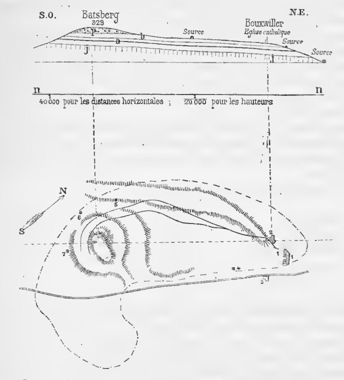


Fig. 25. — Coupe et plan du gisement de lignite du Batsberg. P, poudingue lacustre tertiaire ; — *b*, calcaire d'eau douce ; — *a*, marne avec lignite ; — J, terrain jurassique ; — 1, fabrique d'alun et de vitriol ; — 2, église de Bouxwillers ; — 3, tuilerie ; — 4, puits de la machine ; — 5, 6 et 7, puits d'aérage. — Dans le plan la ligne pleine bifurquée représente la galerie d'exploitation de lignite ; la ligne ponctuée donne le contour du calcaire d'eau douce.

Près de Wissembourg, se trouve le gîte de lignites de Lobsann, accompagné de minerai de fer en grains et de bitume. Le lignite s'y présente en lits très minces et très rapprochés les uns des autres, de sorte que la couche consiste dans l'alternance répétée de feuillets de lignite et de feuillets de calcaire parallèles entre eux et faiblement inclinés. Dans une épaisseur de 1 mètre on peut compter plus de 40 de ces lits à disposition rubanée. Quelques couches de lignites, assez épaisses pour être exploitées, atteignent de 30 à 60 centimètres.

Le lignite de Lobsann a une cassure terne et compacte. Il renferme des parties à structure bacillaire. On a reconnu que celles-ci ne sont autre chose que des débris de troncs de palmiers dans lesquels le tissu cellulaire ayant disparu par la décomposition, les faisceaux fibro-vasculaires se sont trouvés séparés les uns des autres.

Leur diamètre est d'environ 0mm,4 et la longueur de leurs fragments dépasse souvent 20 centimètres. Ce lignite bacillaire est loin d'être une rareté ; certaines couches en sont même exclusivement formées sur une grande étendue : les coquilles y sont couchées parallèlement à la stratification. On trouve aussi des masses de lignite à fibres très fines, à contours fragmentaires ressemblant beaucoup à du charbon de bois. Observées au microscope, les fibres dont elles se composent offrent les ponctuations caractéristiques des bois des conifères.

A Meissen, en Hesse, il y a une couche de bois bitumineux qui est recouverte par une épaisseur de plus de 100 mètres de basalte. Ce combustible a la structure feuilletée du bois; sa cassure en travers est conchoïde et brillante : sa couleur est le brun foncé ou le brun noir; sa pesanteur spécifique est de 1,32. A la distillation il donne de l'eau acide, puis des huiles foncées à odeur désagréable, et il laisse un charbon fritté.

Lorsqu'on le brûle, il y a un peu de décrépitation et de fumée, puis il se produit une longue flamme jaune à odeur désagréable, et il reste un charbon fritté dans le sens de l'épaisseur des feuillets, dont l'incinération est aussi facile que celle du charbon de bois.

En voici l'analyse, faite sur deux échantillons :

Charbon	0,371	0,371
Cendres	0,014	0,014
Matières liquides	0,341	0,615
Gaz	0,274	
		1,000

Un troisième échantillon a fourni 215 de plomb avec la litharge. Donc, les matières volatiles équivalent à 0,27 de charbon.

Dans la Hesse, deux des plus remarquables gisements de lignite sont ceux de l'Habitchswald, près Cassel, et du mont Meisner. L'un et l'autre sont recouverts de terrain basaltique. Dans le premier gîte, le lignite se présente en lits puissants d'une exploitation facile et avantageuse, alternant avec des lits d'argile plastique et des bancs de grès.

Le mont Meisner présente un des gîtes les plus puissants que l'on connaisse. Il est placé sur un calcaire compact gris de fumée, et de beaucoup antérieur à la craie.

On y reconnaît le lignite piciforme commun, le piciforme jayet, le terne massif, le fibreux noir. Dans certaines parties supérieures, on trouve de l'anthracite bacillaire et de l'anthracite éclatant, friable, — dans les partiés inférieures, du bois silicifié.

Le gîte de combustible fossile de Frankenberg, en Hesse, est remarquable par une quantité de minerai de civre assez abondant pour l'exploitation.

On sait maintenant, après bien des doutes, que c'est un lignite, à cause des caractères qu'il présente, mais il est difficile d'établir à quelle formation il appartient.

Dans la Thuringe, à Kaltennardheim et à Thann, on trouve des dépôts de lignites qui renferment beaucoup de fruits.

Le lignite du vallon d'Unstbruth, près d'Asten, également en Thuringe, est

devenu célèbre par le mellite qu'on y a découvert. Il forme une couche puissante offrant les variétés du terreux, du terne massif et du fibreux. Cette couche a de 5 à 12 mètres de puissance, elle est posée sur un sable fin avec lits alternatifs de marne argileuse grisâtre, noirâtre, et de sable grossier.

La couche de lignites quaternaires do Grossweil près de Kochelsee, en Bavière, se montre composée de lits alternants de débris ligneux et de débris foliacés qu'on peut facilement isoler en traitant la masse par une dissolution de potasse; on voit que parmi les débris de feuilles les *Sphagnum* tiennent la première place, ce qui prouve formellement qu'on a affaire à une formation de *tourbière*.

Une argile tertiaire du Ries renferme un dysodile qui a été examiné par M. Frickinger[1]. Sous le microscope cette substance présente une masse homogène dans laquelle on retrouve rarement la structure organique. Ses cendres sont essentiellement formées d'argile et de calcaire et l'on n'y trouve pas de silice soluble comme dans le dysodile de Glimbach près Giessen : leur proportion s'élève à 69 pour 100, et lorsqu'on les défalque il reste pour la composition de la matière organique :

Carbone	63.59
Hydrogène	12.51
Azote	0.62
Soufre	1.96
Oxygène	19.13
Eau	2.39
	97,90

Autriche. — A Pernitz, près Guttenstein aux environs de Vienne, on reconnaît des couches de lignites dont la partie supérieure renferme des coquilles univalves fluviatiles, et contient du succin.

Près Wandorf on exploite, dans la montagne de Bremberg, sur la route de Vienne à Presbourg, un dépôt de lignite de bonne qualité, quoique un peu pyriteux, en bancs épais ondulés, séparés par du sable noir argileux; il est recouvert par un terrain argileux jaunâtre ou grisâtre avec empreintes végétales. Une partie de ce gîte s'est enflammée spontanément naguère, et il a réduit les argiles en porcellanite.

Il y a encore en Autriche, dans le district de Bonn, des mines de lignite exploitées; près de Haagen, près de Hampfelwangen, près de Weilhardten, dans la vallée de Frankenbourg, etc.

La plupart des terrains basaltiques de l'Allemagne et de la Bohême recouvrent des dépôts charbonneux que la géologie moderne rapporte aux lignites et surtout à l'étage éocène dit du Soissonnais.

La Hongrie présente un assez grand nombre de dépôts de lignites. La plupart ont été pris pour de la houille : tels sont ceux de la montagne de Dregely, de Cserhat, de Bouth, de la montagne de Matro. On y rencontre des minerais ferrugineux, mais pas de succin; ils renferment souvent du bitume liquide imprégnant le grès psammite et mollasse.

Parmi ces mines, la plus remarquable est celle de Sari-Sap, à cinq lieues de

1. *Jahr. für Chem.*, 1875, p. 1248.

Budc. Il y a trois couches, la plus épaisse est la plus profonde. Les couches sont séparées par les lits de marne argileuse. Le lignite est compact, mais schistoïde; le calcaire jurassique lui sert de base.

Sur le versant nord des roches primitives qui forment le plateau central de la Bohême[1], se sont superposés, avec quelques lacunes toutefois, les terrains de sédiment allant de l'époque silurienne jusqu'à nos jours. Pendant les milliers de siècles nécessaires pour constituer cet ensemble de formations géologiques, le plateau central se soulevait lentement tandis qu'il y avait affaissement vers le nord, aussi les dépôts se reportent de plus en plus de ce dernier côté, butant d'abord contre le Mittelgebirge, marqué aujourd'hui par une longue suite de cônes basaltiques et phonolithiques. Puis, l'affaissement continuant, le crétacé s'étend au delà du Mittelgebirge et va jusqu'à l'Erzgebirge ainsi que le tertiaire qui lui succède, ce dernier terrain dépassant à peine le Mittelgebirge au sud (fig. 26).

C'est dans cette formation tertiaire que se trouvent les puissantes couches de lignite du nord-ouest de la Bohême, tandis qu'au sud du Mittelgebirge s'étend le bassin houiller plus ancien de Schlan-Kladno. M. Lallemand ne s'est occupé dans son mémoire que des dépôts lignitifères du nord-ouest de la Bohême.

Les volcans du Mittelgebirge étaient déjà en activité au début de ces dépôts lignitifères, et n'auraient, d'après l'auteur du mémoire, fini de s'étendre que dans les derniers temps de l'époque tertiaire. Les éruptions des roches basaltiques et phonolithiques ont été surtout violentes et d'une grande étendue vers le milieu de la formation. Pendant ces fortes agitations du sol, les dépôts sédimentaires ne se faisaient plus avec la même régularité, on peut même dire qu'ils ont été à peu près complètement interrompus pour faire place à un dépôt spécial caractérisé par des basaltes, des trachytes ou des phonolithes, soit par des tufs résultant de l'action de l'eau sur les laves de l'époque. M. Lallemand appelle cette formation particulière l'*étage basaltique*, les assises tertiaires antérieures étant l'*étage prébasaltique*, et celles qui sont venues après, l'*étage postbasaltique*.

Ces éruptions volcaniques ont en outre morcelé le terrain lignitifère; on peut y distinguer aujourd'hui trois bassins principaux : le bassin d'*Elbogen* à l'ouest, celui de Saatz-Téplitz au centre et celui de Leitmeritz à l'est de l'Elbe (fig. 26 et fig. 27).

L'étage inférieur au prébasaltique est représenté à la base par des grès lignitifères avec conglomérats du côté d'Eger et à Altsattel dans le bassin de Saatz-Téplitz, enfin dans le bassin de Leitmeritz, à Schüttenitz et avec des intercalations d'argile plastique à Priesen dans le bassin de Saatz-Téplitz. Ces grès sont très aquifères, et c'est là leur niveau que prennent naissance les nombreuses sources d'eaux minérales qui viennent jaillir en divers points du bassin, derniers indices de l'activité volcanique d'autrefois. On trouve dans les grès d'Altsattel et dans l'argile plastique de Priesen qui ont été imprégnés d'eaux minérales plus ou moins chaudes, une grande quantité de plantes fossiles admirablement conservées et constituant une flore très riche.

Le haut de cet étage prébasaltique est plus argileux, il contient des couches d'un

1, Société de l'industrie minérale. District du centre, 9 juillet 1882. Note de M. Durand sur *les Lignites dans le nord de la Bohême*, par M. Lallemand.

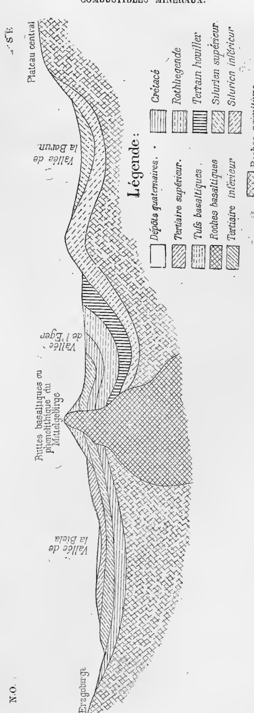


Fig. 26. — Coupe géologique au travers des amas de lignite du nord de la Bohême.

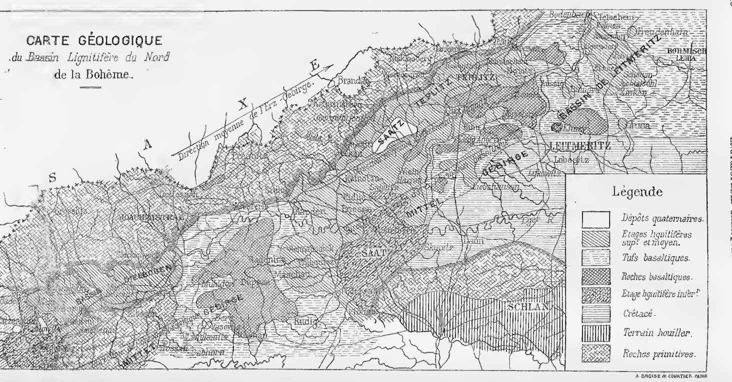


Fig. 27. — Distribution des bassins lignitifères d'Elbogen, de Saatz-Téplitz et de Leimeritz dans la région septentrionale de la Bohême.

lignite parfois gras, collant, gazeux, passant presque à la houille, comme à Reichenau et à Falkeuau, tandis que, sur d'autres points plus éloignés des éruptions volcaniques, le lignite terreux ressemble à de la cendre, comme dans les environs d'Eger, ou n'est qu'en couches minces et tourbeuses, comme dans la région de Saatz.

L'étage basaltique très développé dans le bassin de Leitmeritz et autour de Bilin se présente en masses considérables à Duppan, où il isole entièrement à l'ouest le bassin d'Elbogen. Dans ce dernier bassin, il ne se rencontre que sur quelques points de la lisière sud, entre autres à Reichenau et à Königswarth, où on le voit pénétrer en coin entre les deux autres étages tertiaires.

Cet étage correspond à une époque de violents cataclysmes où les éruptions se succèdent à de faibles intervalles. « Pendant les intervalles de calme, dit M. Lallemand, il se développait sous l'influence d'un climat presque tropical, de véritables forêts peuplées d'arbres des pays chauds et notamment de palmiers. On retrouve aujourd'hui les restes de cette végétation sous la forme d'un lignite gras, luisant, très pur et très estimé, exploité à Salesl et à Binnove. Dans ces deux localités, on ne compte pas moins de treize couches de combustible de 80 centimètres au plus d'épaisseur, séparées par des bancs de tufs et traversées dans tous les sens par des éruptions de roches vitreuses qui ont, à leur contact, transformé le lignite en coke. »

Mais le fait le plus remarquable encore, ajoute l'auteur du mémoire, c'est l'admirable état de conservation dans lequel on retrouve, emprisonnés dans le tuf et au contact immédiat des charbons, les restes fossiles de la flore de cette époque, débris de troncs et de tiges, empreintes de feuilles, de fruits, etc. La détermination botanique de ces débris fossiles a pu être faite avec une grande précision.

Les grandes éruptions volcaniques cessent, de nouveaux dépôts sédimentaires réguliers se forment pour constituer l'étage lignitifère supérieur ou postbasaltique.

Ces dépôts, importants surtout dans le grand bassin de Saatz-Téplitz, sont des argiles alternant avec des grès ou des sables en masses lenticulaires très aquifères parfois, principalement dans le voisinage des roches éruptives. Vers la base de cette formation argilo-sableuse, se développe une puissante couche de lignite sec dont l'épaisseur va jusqu'à 38 mètres.

Cet étage, très peu développé dans le bassin de Leitmeritz, se montre dans la partie est du bassin d'Elbogen, avec du lignite maigre à Haberspirk, Boden et Kahr. Ce lignite ainsi que celui du grand bassin de Saatz-Téptlitz ont un aspect terne, sont d'uu brun assez clair avec un faible éclat résineux. M. Hausofer a constaté, par des observations microscopiques, l'analogie de ce lignite ayant encore la structure ligneuse et présentant tous les caractères des espèces résineuses.

Cette formation supérieure n'a, pour ainsi dire, pas subi d'action volcanique. Il n'y a probablement pas eu d'éruption dans le voisinage, et les eaux thermales et autres émanations qui ont pu succéder aux éruptions violentes, se sont répandues dans les dépôts sableux les plus près, sans traverser les argiles imperméables qui encaissent les couches de lignite de l'étage supérieur.

Aussi le lignite de cet étage n'est guère que de la tourbe comprimée. On ne trouve plus, dans cette formation, que de rares débris fossiles, racines, tiges ou feuilles, sous forme de fragments ou d'empreintes dans les argiles du toit de cer-

tains gîtes qui sont en général si peu nets qu'il est impossible de les définir botaniquement d'une façon précise.

En résumé, l'action des émanations volcaniques sur les masses végétales accumulées pendant l'époque tertiaire ne paraît pas douteuse dans le bassin lignitifère du nord-ouest de la Bohême. Partout où ces émanations ont pu arriver, les débris végétaux se retrouvent aujourd'hui dans un état de conservation parfaite et le lignite y passe presque à la houille; tandis que, dans les parties à l'abri des actions volcaniques, c'est à peine s'il reste quelques traces des anciens végétaux dont on ne reconnaît d'ailleurs presque plus aucun caractère; et le lignite, dans les couches de ces régions, ressemble bien mieux à de la tourbe compacte qu'à de la houille.

Tout porte à croire que les débris végétaux, quoique enfouis dans la terre, décomposent et disparaissent à la longue, comme combustibles, s'ils n'ont pas, au préalable, subi l'action préservatrice des émanations souterraines.

Le tanin des plantes peut être un préservatif pour les végétaux qui composent la tourbe, et permettent à celle-ci d'arriver jusqu'à l'état de lignite. Mais le combustible tourbeux ne semble pas indéfiniment à l'abri de toute détérioration.

On remarque, en effet, en Bohême, que les couches de lignite de l'étage supérieur ont en général, au toit et au mur, une certaine épaisseur de combustible trop impure pour être utilisé[1]. Et même, dans les couches plus anciennes de l'étage prébasaltique, le lignite, loin des éruptions volcaniques, comme du côté d'Eger, peut être devenu complètement inutilisable dans toute l'épaisseur de la couche.

Ces couches de lignite paraissent donc s'imprégner de substances minérales incombustibles, à la fois par le toit et par le mur. Elles peuvent devenir de plus en plus cendreuses dans toute l'épaisseur de la couche, et n'être plus, à la fin, que des masses minérales absolument impropres à la combustion. Il ne resterait plus alors, dans le bassin lignitifère du N. O. de la Bohême, que les régions volcaniques où on pourrait trouver encore des couches de combustibles minéraux.

Le lignite liasique de Steyerdorf dans le Banat présente cinq couches dont l'épaisseur varie de $1^m,30$ à 4 mètres; ces dernières sont intercalées dans les grès micacé et schisteux qui se trouvent à la base du lias[2]. C'est un des meilleurs combustibles de toute l'Autriche; par sa faible teneur en cendres et par son haut pouvoir calorifique, il se rapproche même des bonnes houilles du continent et de l'Angleterre; la posibilité de le convertir en coke le rend d'ailleurs précieux pour l'industrie métallurgique du Banat.

Voici les résultats d'essais sur des échantillons de ce charbon liasique qui ont été pris sur divers points de l'exploitation et sur la couche dite principale, atteignant une épaisseur de 3 mètres :

1. A Brüx, dans la mine du Domaine, il y a une couche de 11 mètres d'épaisseur, en quatre bancs dont le troisième, de 2 mètres 50 centimètres de puissance, est seul exploitable. A Tschausch, sur 20 mètres d'épaisseur de couche, il n'y en a que 14 mètres dans le milieu, assez bon pour être utilisé. A Dux, dans la mine de Fortschritte, il n'y a parfois que 9 mètres de lignite assez pur pour être exploité sur 13 mètres d'épaisseur de couche; et dans une exploitation à ciel ouvert, on laisse au mur une certaine épaisseur de combustible trop impure pour avoir quelque valeur.

2. *Revue de géologie*, t. XI, p. 24.

	Puits Colonie.	Puits Kübeck.	Puits Gustave.
Eau	2.10	1.10	1.70
Coke	59.72	45.52	64.61
Parties votatiles	30.86	38.76	31.48
Cendres	6.26	14.67	2.21
Totaux	98.94	100.00	100.00
Plomb réduit par 1 de charbon	22.086	18.304	23.581
Pouvoir calorique	4.977	4.179	35.44

La production totale annuelle est d'environ 170 000 tonnes; elle atteindra et dépassera 200 000 tonnes.

Suisse. — Parmi les dépôts de Suisse, les uns sont au pied nord-ouest des Alpes, dans la grande vallée qui sépare les Alpes du Jura. Les autres sont sur des points élevés, dans de hautes vallées du Jura ou des Alpes. Tous les autres dépôts sont dans la grande vallée entre le lac de Genève et le lac de Constance. Enfin, dans quelques vallées transversales des Alpes, les gîtes de Vernier, près Genève, de Paudex, près Lausanne, de Saint-Saphorin, près Vevay, de Moudon au nord de Lausanne, sont remarquables par la puissance et l'étendue des couches.

On trouve des gisements à Kœpfnach, près d'Horgen, sur la rive occidentale du lac de Zurich. Ce dépôt a toute l'apparence d'une mine de houille. La couche est noire, brillante, puissante ; le combustible est de bonne qualité. Outre les coquilles, ce dépôt renferme des débris de mammifères, de mastodontes et de castors.

Les lignites d'Œningen, près du lac de Constance, sont célèbres par les débris innombrables renfermés dans leurs couches. Les lits de lignites sont peu puissants et ne permettent pas une large exploitation.

Italie. — En Italie, les lignites du pied des Apennins ne présentent pas des couches assez puissantes et assez suivies pour l'exploitation. Il y a des gîtes à Caniparola, près de Sarzanne, sur la côte de Gênes, près du golfe de la Spezzia. Ce combustible, en ces divers lieux, est encaissé dans une marne argileuse dure à bancs puissants. Sa disposition est bien différente de celle du lignite suessonien, et il se rapproche plutôt des lignites marins de l'île d'Aix.

A San Lazaro, près Castelnuovo, on trouve un autre gîte de lignite. C'est du véritable piciforme en couche horizontale dans une argile sableuse grise, mêlée de galets quartzeux granitiques.

L'Italie septentrionale présente des dépôts de lignites dans une position géologique très différente. C'est dans le Vicentin et le Véronais qu'on trouve ces dépôts peu puissants et peu étendus.

On a découvert à Migliana, non loin de la route départementale de Bologne, un gisement de lignite, dont l'épaisseur est de plusieurs mètres et qui se prolonge sur une longueur de 4500 mètres. Ce lignite se distingue des produits similaires par sa texture, sa structure conchoïde et sa couleur d'un noir brillant. Il est très riche en

bitume, se gonfle en brûlant avec unc flamme longue et fuligineuse, et donne un coke luisant et très poreux.

On a constaté, par l'analyse chimique, une proportion de 12,20 pour 100 de cendres, qui contiennent du soufre, du chlore, de l'acide phosphorique, de la chaux, dc la magnésie et surtout de l'oxyde de fer. La puissance calorifique de ce combustible a été trouvée de 4285 calories.

D'après M. Jervis[1], le bassin de Monte-Bamboli a seulement 3 milles de tour; il présente deux couches : l'une de $1^{m},30$, au-dessous de laquelle il y en a une autre de $0^{m},65$ reposant sur une brèche de l'Alberèse. Ces couches sont séparées par $1^{m},30$ d'un calcaire renfermant le *Dreissena Brardi*. Les couches sont inclinées de 0 à 60 degrés; elles appartiennent au miocène, comme le montrent les débris de tortues et d'*Anthracotherium* qu'on y a trouvés.

M. Jervis pense que si le lignite miocène de Monte Bamboli présente les caractères d'une houille, cela tient à la serpentine et autres roches éruptives qui se trouvent dans son voisinage. Ces roches l'ont minéralisée et ont opéré sa transformation en houille à l'époque miocène; mais en même temps ces couches ont été disloquées par de nombreuses failles qui rendent malbeureusement l'exploitation difficile.

Pologne. — Dans le Keuper ou dans les terrains tertiaires de Pologne, on a découvert du charbon qui, par sa couleur et sa constitution extérieure, ressemble à de la bouille bitumineuse, mais qui, par sa composition chimique, doit être considéré comme du lignite. C'est ainsi qu'on a découvert en 1877, près du village de Krasna (gouvernement et district de Kielcé), une couche de cette espèce de houille, d'un mètre d'épaisseur.

Les gisements connus et exploitables de lignite, appartenant à la formation de keuper, sont les suivantes :

1° Dans le gouvernement de Kielcé, district d'Olkusz : près de Kromolow (une couche de près de $1^{m},10$ de puissance), et à Blanowicé, au N.-O. de Kromolow, une coucbe de $1^{m},70$ de puissance ;

2° Gouvernement de Piotrkow, district de Bendzin : à Rokitno et Kuznica (une couche de 2 mètres), à Paremba et Ciengowicé (une coucbe de $1^{m},40$), à Miaczew ($1^{m},10$) et à Brudzowicé ($2^{m},50$).

Jadis ces couches étaient exploitées, mais les difficultés de l'épuisement ont forcé d'en abandonner l'exploitation. Tantôt le lignite conserve la structure des plantes qui l'ont formé ; tantôt il forme une substance compacte noire et bitumineuse, à cassure esquilleuse. Ce combustible est impropre à donner du coke, mais il s'allume et brûle facilement avec une longue flamme; il est utilisé dans les fabriques et les usines locales.

Les lignites tertiaires sont connus dans le gouvernement de Kalisz, près de la ville de Konin, et dans le gouvernement de Plock, non loin de la Vistule.

Entre les villes de Konin et de Kola, on a retrouvé et étudié une couche de lignite de 2 à 8 mètres de puissance. Non loin de là, près du village dc Piorunow, on connaît une couche de lignite de 1 à 7 mètres.

1. *The mineral ressources of Italy*, p. 85.

Sur la rive droite de la Vistule, on rencontre des couches entre Dobrzyne et Wloclawek, près des villages de Glewo et de Bachorzewo ; dans ce dernier endroit, la puissance de la couche atteint 5 mètres.

Russie. — A 200 verstes des côtes septentrionales de la Russie il ne croît aucun bois, et pourtant elles sont garnies de celui que la mer y amène et qui y forme comme des montagnes de sapins ou de mélèzes.

Laptieuw et Plantin, envoyés le 15 août à la découverte d'un passage pour se rendre par le nord de la Russie dans la mer du Japon, font mention de la grande quantité de gros bois qu'on trouve amoncelée sur les rivages. A l'est de l'embouchure de l'Iénisséi, à 15 verstes, c'est-à-dire à 12 kilomètres au nord de Kitoschowskoï-Simoïe, il y a une plage qui surpasse en hauteur toute la contrée par l'abondance du bois [1].

Dans le voyage que fit Matiouckine (expédition de Wrangel) à la baie de Tchaounsk, à travers la *toundra*, à l'est de la Kima :

« Nous continuâmes, dit-il, à avancer sur un rivage bas ; à notre droite s'élevait une berge abrupte de formation récente. Je rencontrai dans l'endroit éboulé, à 2 sagènes (plus de 4 mètres) au-dessus du niveau de la mer, du bois flotté, à moitié pourri ; le bois flotté de bonne qualité ne se rencontre qu'au-dessous, ce qui peut être considéré comme une preuve que la mer se retire du rivage [2]. »

La formation éocène, dans les gouvernements de Kiew et de Cherson, contient deux étages de lignites, mais les couches exploitées appartiennent presque toutes à l'étage inférieur, c'est-à-dire à celui des grès blancs.

La profondeur des gîtes de lignite n'est pas considérable, le mur est composé de sable ou d'argile reposant sur le granit décomposé ou sur le kaolin ; au toit des lignites, outre les argiles et les sables, on rencontre des couches de sable aquifère. En général, ces gîtes, par leur allure et par la qualité du lignite, se rapprochent beaucoup de ceux de la province de Saxe en Prusse.

Ces gisements forment des bassins dans les dépressions des roches cristallines : en s'approchant des bords du bassin, les couches se relèvent et disparaissent. Quand les roches cristallines forment des collines souterraines, les couches de lignite s'interrompent.

Dans la partie méridionale du gouvernement de Cherson, et au nord du gouvernement de Kiew, les gisements de lignites font de nouveau apparition ; ils sont ici d'une formation plus récente, quoique leur âge géologique ne soit pas toujours bien déterminé. Au nord, les lignites se prolongent jusqu'en Courlande, et à l'occident ils se réunissent aux gisements de lignite de la Vistule.

Actuellement ces gisements ne sont presque point exploités, quoique les raffineries de sucre du sud-ouest de la Russie consomment une masse énorme de combustible végétal et dévastent cette contrée, autrefois si riche en forêts.

Le gisement d'Ékatérinopol, qui est seul exploité aujourd'hui, se trouve dans le district de Zwénigorodka (gouvernement de Kiev, non loin du village de Kalniboloto). Une couche de lignite de 3 mètres d'épaisseur forme ici un bassin régulier,

1. Eugène Robert. Voyages en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë.
2. *Le Nord de la Sibérie*, t. II, p. 223.

dont la superficie est de 500 hectares. Au-dessus de cette couche se trouve un grès mélangé de matières charbonneuses et recouvert en partie par des sables aquifères, au milieu desquels on retrouve une couche beaucoup plus mince de lignite. Le mur de la couche inférieure est formé par de l'argile, qui repose sur le granit. La partie nord du bassin est seule explorée ; vers le sud il existe des affleurements de lignite près des villages de Chestakovka et de Loukouka, à plus de 10 kilomètres du gisement d'Ékatérinopol.

Le lignite d'Ékatérinopol contient :

Eau.	51,00
Matières volatiles.	24,43
Carbone	15,10
Cendres	9,46
	99,99

Le contenu en soufre ne dépasse pas 3,75 p. 100 ; la puissance calorifique est de 4255 calories.

Les cendres sont composées principalement de gypse.

Le gisement de lignite de Jourovka, district de Tchiguirine (gouvernement de Kiew), est formé par une couche de lignite, dont la puissance varie de $0^m,25$ à $5^m,50$. Sa longueur, d'après les recherches, est de plusieurs kilomètres et sa largeur varie de 100 à 200 mètres. La couche se trouve à une profondeur de 23 à 55 mètres. Au milieu du lignite on rencontre souvent d'immenses concrétions quartzeuses qui l'imprègnent, et qui en rendent l'exploitation difficile.

Le lignite de Jourovka (gouvernement de Kiew) contient 65 p. 100 de matières volatiles et d'eau, 26 p. 100 de carbone et 9 p. 100 de cendres.

Dans le gouvernement de Volhynie, à 6 kilomètres au N.-N.-O. de Vichnevetz. dans le ravin de Gebiak, près du village de Zwiniatchi, se trouve une couche horizontale de lignite de $1^m,50$ de puissance et de 3 kilomètres d'étendue en longueur.

Le lignite contient :

Matières volatiles	36,94
Carbone	23,06
Cendres	39,00
	100,00

Aux environs de la ville de Kréménetz, à Koultchevka, se trouve une couche de lignite qui atteint jusqu'à 2 mètres de puissance. La composition du combustible est la suivante :

Matières volatiles	47,84
Carbone.	19,08
Cendres.	32,08
	99,00

Ce lignite repose sur la craie blanche, et est recouvert par l'étage sarmate.

Dans le gouvernement de Minsk, sur la rive droite du Pripet, à 2 kilomètres de la ville de Mazire, le sondage a rencontré, à la profondeur de 11 mètres, une couche de lignite de $1^m,20$ de puissance reposant sur du tuf calcaire et recouverte par des sables.

En voici la composition :

Matières volatiles.	58,28
Carbone.	28,44
Cendres.	19,28
	104,00

Le lignite a été découvert sur le versant est de l'Oural antérieurement à la houille proprement dite. Ce lignite appartient à la formation permienne, à la formation tertiaire et à une formation indéterminée. A l'extrémité nord du versant est de l'Oural, on l'a trouvé dans le terrain jurassique. En général, d'après les travaux d'exploration, les gisements de lignite ne présentent pas de sûreté. La formation permienne comprend deux gisements : l'un près du village cosaque de Miassk, au bord de la rivière de Miass, à 50 kilomètres à l'est de la ville de Tcheliaba, et l'autre près de la station de Kitchiguina, sur la rivière Ouwelka. Le terrain tertiaire comprend les couches horizontales de lignite, découvertes dans les domaines de l'usine de Kamensk, près des villages de Kasakowa et de Koltchedansk, dans les districts de Goroblagodatsk et de Bogoslowsk. Les gisements de Bogoslowsk paraissent être ceux qui offrent le plus de sécurité. Ainsi, par exemple, on a rencontré dans un puits deux couches de bon lignite. La couche supérieure, située à une profondeur de 5 mètres, a 1 mètre d'épaisseur ; l'autre, trouvée à 8 mètres de la surface, a une puissance de plus d'un mètre, mais elle n'a pas été complètement traversée par le puits et l'on ne connaît par conséquent pas son épaisseur exacte.

MM. Abich et Ernest Favre[1] ont étudié une houille qui, à Tkvibouli, présente des couches dont l'épaisseur totale peut atteindre 16 mètres. Cette houille, véritable lignite formée en partie de tiges et de feuilles de cycadées, est dure, maigre, et ne donne que 28 p. 100 de coke ; toutefois elle brûle bien et, d'après M. K. de Hauer, elle ressemble à celle du lias de l'Autriche. Les plantes fossiles de ce combustible et des grès associés se retrouvent à Stonesfield et dans le Yorkshire, en sorte que ce terrain à lignites du Caucase doit être rapporté à la série jurassique inférieure.

Danemark et Suède. — Le Danemark et la Suède, l'île de Bornholm, renferment des dépôts de lignites abondants. Ces dépôts sont composés de troncs comprimés dont la structure ligneuse est bien distincte. Ils sont souvent accompagnés de jayet.

Norwège. — Des couches de houille jurassique (lignite) qui paraissent susceptibles d'être exploitées ont été signalées aux îles Loffoden par M. Tele Dahl[2]. On a constaté[3] que les combustibles forment des couches dans des grès qui, d'après leurs

1. *Recherches géologiques dans la partie centrale du Caucase.*
2. *Revue de géologie*, t. VIII, p. 20.
3. Bertrand, *Journal de voyage en Norwège*, 1872.

fossiles, appartiennent à l'étage de l'argile d'Oxford. Un puits de 120 mètres percé dans l'île d'Andö a rencontré sept de ces couches, dont la plus puissante a seulement 0m,55 d'épaisseur. Dans l'intervalle il y a plusieurs couches de schistes charbonneux dont l'épaisseur va jusqu'à 6 mètres. Voici, en défalquant les cendres dont la proportion est très forte (25,45 p. 100), quels sont les résultats des essais faits pour le charbon :

Carbone	75,9
Hydrogène	7,7
Oxygène et azote	16,4
	100,0

Sa densité est égale à 1,45.

Ce combustible est, comme on voit, très impur; jusqu'à présent on n'a pu l'utiliser que pour la fabrication du gaz d'éclairage et de la paraffine.

Islande[1]. — Près de Avammur et de la montagne trachytique de Baula existe un des principaux gisements de lignite ou *surtarbrandur* de l'Islande; il se trouve sur la rive gauche d'un torrent qui se jette dans le Fauná, après avoir serpenté sur les flancs de la montagne de Thoriseingis-Múli; le dépôt de ce combustible, rendu célèbre par les Sagas, et dans lequel les Islandais se plaisent encore à voir des traces de leurs anciennes forêts, est à une assez grande hauteur au-dessus du niveau de la mer, peut-être de 165 à 195 mètres. Il est adossé presque horizontalement à une mimosite à grains fins qui constitue la montagne de Thoriseingis-Múli, et se divise en colonnes vers sa partie supérieure.

Le surtarbrandur est disséminé dans un trass endurci qui constitue du côté du torrent une couche de 5 mètres environ d'épaisseur sur une étendue de 10 mètres au moins; il repose principalement sur un trass consistant, gris jaunâtre, avec des empreintes qui paraissent appartenir à des fucoïdes du genre *Zostera;* on y voit aussi très distinctement des empreintes de prêles, qui ne paraissent pas différer de celles qui végètent actuellement dans les mêmes lieux. Celles-ci sont aussi nettes que celles des terrains houillers avec lesquels ce gisement a certainement plus d'un rapport, sinon d'âge, du moins dans l'arrangement de ses éléments; il est recouvert par de la terre végétale, des débris de roches, le tout par du gazon.

Parmi les échantillons de combustible que renferme ce gisement, on en remarque qui ont dû avoir été roulés pendant longtemps avant de passer à l'état de lignite : ce sont des morceaux usés comme des galets, analogues du reste à des bois flottés que les voyageurs ont eu souvent l'occasion d'observer en cet état sur les côtes de l'Islande; d'autres sont d'une trop grande dimension pour avoir appartenu à des arbres du pays. Tous ces lignites sont comprimés d'une manière remarquable, ce qui peut très bien s'expliquer par l'état de mollesse dans lequel se trouvent tous les bois flottés quand ils sortent de la mer ; à moins de supposer que, dans l'origine, ils aient été recouverts et promptement comprimés par une épaisse nappe de mimosite, qui aurait disparu depuis en laissant, pour ainsi dire, à nu leur gisement, tel qu'on le voit aujourd'hui. Le surtarbrandur se présente souvent dans cette loca-

1. Voyages en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg et aux Feroë, par M. Eugène Robert.

lité à l'état de lignite susceptible d'être travaillé ayant souvent l'aspect d'anthracite piciforme, comme s'il avait subi un commencement de fusion sur ses bords.

Tout porte à croire que le surtarbrandur de Thoriseingis-Múli s'est déposé dans le fond d'un fiord ou d'une petite baie correspondant à l'embouchure d'un torrent qui existe encore sous le nom de *Surtarbrand-Gil.*

Dans le Vapna-Fiordur, au fond d'une petite baie appelée Virki, dominée à droite et à gauche par les montagnes Vinfell et Krosavik, existe le gisement de surtarbrandur le plus célèbre de toute l'Islande.

Facile à distinguer d'assez loin par sa teinte noirâtre, ce gisement occupe en longueur une étendue de 110 mètres sur 12 de hauteur environ, et se compose d'un nombre de couches dont l'ensemble est horizontal, malgré la légère ondulation de chacune d'elles, toutes dirigées de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-ouest du compas ; il est enveloppé de toutes parts, excepté du côté de la mer, par une péridotite cellulaire qui s'est épanchée dessus ; cette roche se divise en grosses colonnes, de 30 mètres environ de hauteur, à 5 pans inclinés de 85 degrés et dirigées en sens différent du surtarbrandur, de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest.

Parmi les échantillons de lignites de grande dimension que renferme ce gisement, on en a trouvé un qui offrait une coupe transversale de $1^{m},05$ dans son plus grand diamètre et de $0^{m},32$ dans son plus petit ; cette grande différence entre ces diamètres résulte peut-être, au moins en partie, de la forte compression que le tronc a éprouvée. Ce morceau, à cause de ses grandes proportions, doit être rapporté à une grande espèce de conifère flotté. Il semble avoir été percé par des tarets, bien entendu avant son enfouissement.

Au conglomérat ponceux, dans lequel gisent ces lignites, en succède un autre qui renferme, surtout dans sa partie supérieure, des petits galets de basanite, de rétinite, etc.

Viennent ensuite d'autres couches de gallinace et de pépérino alternant entre elles, plus ou moins épaisses, et renfermant en quantité variable des lignites qui, d'après leur forme et leur tissu, ont paru appartenir généralement à des conifères qui seraient venus échouer au fond de la baie de Virki.

Dans le terrain marécageux de Sourbær, on trouve des bois de sapin pétrifié, noirâtre d'un côté et brunâtre de l'autre.

C'est dans les rochers qui garnissent le Bardarströnd, près du Vest-Fiördur, qu'on rencontre en grande abondance le surtarbrandur. Celui de Lack est situé à l'entrée d'une immense caverne qui donne passage à une petite rivière.

D'après la description qu'en donne Olafsen, ces gisements de lignite paraissent avoir la plus grande analogie avec ceux de l'est et du nord de l'Islande ; comme eux, ils forment des couches régulières et parallèles au rivage, composées d'argile endurcie, de lignite passant au jais, de fragments de scories et de petits cailloux roulés. L'une des couches (probablement la plus élevée) est à $194^{m},904$ au-dessus du niveau de la mer ; la première est à $8^{m},121$ au-dessus de celui de la rivière de Lack ; ce dernier gisement ressemble de la manière la plus frappante à celui de Virki sur la côte orientale.

Il existe, sous la seconde couche supérieure du gisement de Lack, qui en présente quatre de surtarbrandur, un lit d'ardoise grisâtre, très mince, se divisant en feuillets couverts d'empreintes de plantes.

Les bois flottés forment un dépôt de plusieurs pieds de hauteur dans le golfe d'Ofeigs-Fiördur, près du cap Nord ; ils sont couverts de mousse. Une grande partie de ces bois ont une de leurs extrémités enterrée, tandis que l'autre reste élevée au-dessus du sol.

Sur les deux côtés de l'embouchure de l'Eyvindur sont accumulés horizontalement un nombre considérable de bois flottés de tout genre ; ce dépôt pénètre assez avant sous les eaux.

La rivière dite Hogedalsaa, qui prend sa source dans le lac Hogedals-Vatn, charrie souvent des fragments et des troncs de bois restés comme ensevelis près de ses bords et que l'eau en détache.

Dans la gorge de la montagne de Holsgil et sur plusieurs points du canton de Skaga-Fiördur, on observe des couches de surtarbrandur. Près du promontoire de Tiarnarnes, elles ont un quart de lieue d'étendue.

Ile de Jean Mayen. — La grande quantité de morceaux de bois pourri qu'on trouve sur la côte orientale de l'île de Jean Mayen a fait donner à plusieurs de ses baies les noms de *Grosse Holtzbay, Klein Holtzbay* (grande et petite baie au bois).

Groënland. — Au Groënland, de nombreuses couches se montrent ; elles ont été pour la plupart recouvertes de trapp.

Turkestan. — Des gisements de combustible existent en grand nombre dans le Turkestan[1], mais leurs dimensions sont pour la plupart médiocres.

Comme ils appartiennent presque tous à la formation jurassique inférieure et possèdent les mêmes caractères pétrographiques et paléontologiques, il suffit d'en décrire un ou deux.

Les gisements de la région de Kouldja (voy. la carte, fig. 28) et en particulier ceux de la vallée d'Ili sont les plus riches et les plus étendus ; ces derniers sont connus sous le nom de bassin houiller de l'Ili. Les dépôts de lignites embrassent toute la vallée de ce fleuve depuis le méridien de la ville de Souïdoun jusqu'à la rivière Djergalanc ; ils s'étendent donc sur l'espace de 40 kilomètres de l'est à l'ouest. Au milieu de la vallée ils sont couverts par des dépôts de loess et de conglomérats récents ; sur les flancs, c'est-à-dire près des montagnes qui bordent la vallée de l'Ili au nord et au sud, ils apparaissent à la surface.

La formation lignitifère s'est déposée sur le calcaire carbonifère, mais en discordance de stratification avec lui. Elle est composée de couches de grès blancs et jaunâtres de conglomérats ferrugineux et de schistes bitumineux qui alternent avec les couches subordonnées de combustibles et avec les couches en chapelets d'hématite brune. Les couches de charbon ont une allure régulière et dans les centres d'exploitation leur inclinaison ne dépasse pas 15° ; près des montagnes elle atteint environ 36°. Le nombre des couches de lignite est très considérable, mais en même temps très variable ; les couches s'étranglent souvent sur une petite étendue. Ainsi, dans la vallée de Tindjane on en compte jusqu'à seize, dont quelques-unes n'ont pas moins de $0^{m},30$ d'épaisseur, tandis que dans la vallée voisine du Gangoul

1. *Les richesses minérales du Turkestan russe par J. Mouchketoff.* In-4, 1878, Paris.

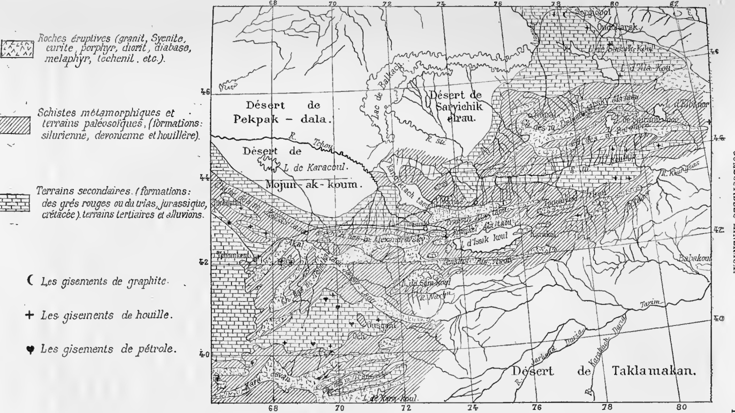


Fig. 28. — Carte géologique du Turkestan russe, d'après MM. Mouchketoff et Romanowsky.

il y en a moins, encore moins sur le Pilitche, et plus à l'est de cette rivière dans les mêmes roches, on ne rencontre plus que des schistes bitumineux. Ce même phénomène s'observe de l'autre côté de la vallée d'Ili.

Toutes les couches de lignite peuvent être divisées en deux groupes, d'après la qualité du combustible et d'après leur position. Dans l'étage supérieur, le charbon extérieur se délite aisément à l'air, laisse en brûlant beaucoup de cendres et renferme souvent de la pyrite de fer. Il s'emploie exclusivement pour les usages domestiques et est connu des indigènes sous le nom de *mei*. Dans l'étage inférieur, le lignite est plus dense, possède un éclat résineux, brûle plus difficilement et s'emploie seulement dans les travaux métallurgiques et les forges. Les indigènes le nomment *tane*.

En fixant l'étendue du bassin de l'Ili à un maximum de 30 kilomètres en travers de la vallée et environ 25 kilomètres le long de la rivière, nous obtenons une surface de 750 kilomètres carrés. On y rencontre beaucoup de mines, en général peu importantes, dans lesquelles on exploite des couches de combustible de plus de 1m,50 d'épaisseur. En certains endroits comme dans la mine de Joulbekhara, on exploite huit couches dont une seule, la couche inférieure, a 3m,60 de puissance.

Les gisements du lignite du bassin de l'Ili appartiennent principalement à la formation jurassique inférieure à l'exception des couches inférieures, qui peut-être datent des trias.

En considérant qu'une partie du combustible au milieu du bassin a été emportée par le courant de l'Ili, qu'une autre a été extraite par l'exploitation qui date maintenant de près de quatre-vingts ans, qu'une troisième s'est consumée en brûlant spontanément sous la terre ; en admettant pour les couches une épaisseur totale de 4 à 5 mètres seulement, ce qui est bien inférieur à la réalité, en admettant enfin que le besoin annuel ne dépasse pas 150 000 tonnes, on arrive à conclure que le dépôt de charbon de ce bassin suffira à la consommation pendant trois mille ans. Il faut ajouter que le bassin est traversé par un fleuve navigable, l'Ili, et que le lignite affleure à la surface du sol.

Parmi les autres gisements du Turkestan nous mentionnerons celui qui est situé dans la vallée de Kokinessaï à 40 kilomètres au sud de Khodjent, sur le territoire de Sir Daria. C'est un des dépôts les plus importants de cette région ; il est exploité depuis 1868 et l'extraction annuelle s'élève à 1000 tonnes.

Au milieu de grès argilo-calcaires et de conglomérats jurrassiques se trouvent sept couches de lignite dont deux ont 4 mètres d'épaisseur avec une faible inclinaison dans la direction nord-ouest. En admettant une épaisseur totale de 3 mètres seulement pour toutes les couches, la quantité de charbon s'élèverait à 1 500 000 tonnes.

Indo-Chine. — Le calcaire carbonifère joue un rôle important dans la constitution de l'Indo-Chine (fig. 29). Sur lui repose, en stratification discordante, une puissante formation argilo-gréseuse à la base de laquelle se trouvent des couches de lignite.

MM. Fuchs et Saladin[1] désignent cette formation sous le nom de *système des grès et des argiles versicolores ;* on n'est pas encore absolument fixé sur leur âge.

1. *Annales des mines*, 8e série, t. II, p. 211, 1882.

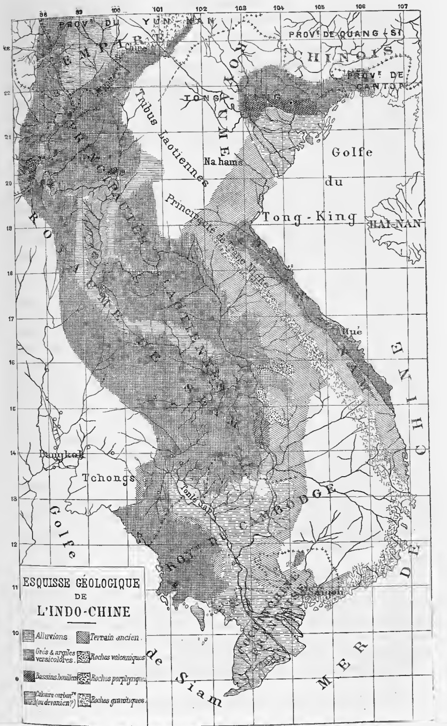


Fig. 29. — Carte géologique de l'Indo-Chine, d'après MM. Fuchs et Saladin.

Quoi qu'il en soit, la partie inférieure de l'étage est caractérisée par la nature feldspathique et la couleur grise prédominante de ses grès, ordinairement micacés, qui présentent l'analogie lithologique la plus complète avec les grès houillers typiques des bassins européens. Comme ces derniers, ils renferment de nombreuses intercalations de fer géodique et de sphérosidérite. Les schistes y sont rares, de couleur claire et de nature argileuse ou argilo-sableuse. Ils sont souvent noircis par du charbon, surtout au voisinage des couches de houille, et renferment, au Tong-King, de belles et nombreuses empreintes végétales.

Les principaux bassins houillers actuellement reconnus sont ceux du Tong-King, du Yun-Nan, de la province de Tinh-Hoa, de Nong-Sön (Annam) et du Laos, notamment celui de Basrac, sur le Mé-Kong.

Immédiatement au-dessus du groupe houiller commencent les grès et argiles versicolores proprement dits. Les couleurs rouges et lie de vin deviennent prédominantes dans les grès et ceux-ci perdent peu à peu leur feldspath et leur vernis pour devenir exclusivement siliceux; parfois même les grains de quartz atteignent des dimensions considérables et les grès passent alors à de véritables poudingues dont les assises résistantes forment en général l'ossature du relief de la contrée qu'ils occupent.

Les schistes sont alternativement blancs, roses, rouges et verts; ils sont plus franchement argileux que dans la partie inférieure du système et passent souvent à de véritables argilolithes. On n'y a pas trouvé de fossiles, mais MM. Fuchs et Saladin signalent l'analyse lithologique de ces couches avec l'ensemble des assises qui constituent en Europe les terrains permiens et triasiques; si bien que souvent, au mont Ca-Tang, par exemple, on serait tenté de se croire sur une colline des Vosges ou de la Franconie. C'est au sommet de ces couches que l'on trouve, au Yun-Nan et dans la vallée du Mé-Kong, les argiles salifères et les grès imprégnés de cuivre qui complètent l'analogie pétrographique de ce système avec le trias européen.

L'étage que nous venons de décrire et dont la puissance est certainement supérieure à 1000 mètres, est un de ceux qui jouent le plus grand rôle dans la structure du sol de l'Indo-Chine.

Les plantes recueillies au Tong-King par MM. Fuchs et Saladin au voisinage des couches de combustible, ont été l'objet d'une remarquable étude de la part de M. Zeiller[1], qui a constaté parmi elles l'existence de plus de vingt espèces différentes. Les unes sont connues en Europe et sont caractéristiques des bassins rhétiens et infraliasiques de la Franconie, du Banat, de la Scanie, des Vosges et de l'Yonne.

Ce sont principalement : *Asplenites Rœsserti*, *Dictyophyllum acutilobatum*, *D. Nilsoni*, *Clathropteris platyphylla*, *Podozamites distans*, *Pterophyllum æquale*, *P. Münsteri*, *Nillsonia polymorpha*, etc. D'autres, telles que *Phyllotheca indica*, *Tæniopsis spatulata*, *Glossopteris Browniana*, *Nœggerathiopsis Hislopi*, sont particuliers à l'Inde et s'y rencontrent dans des couches attribuées en partie aux formations triasiques, en partie aux couches jurassiques.

Enfin quelques espèces nouvelles, *Polypodites Fuchsi* et *Cycadites Saladini*,

1. *Annales des mines*, 8e série, t. I, p. 299, avec trois planches.

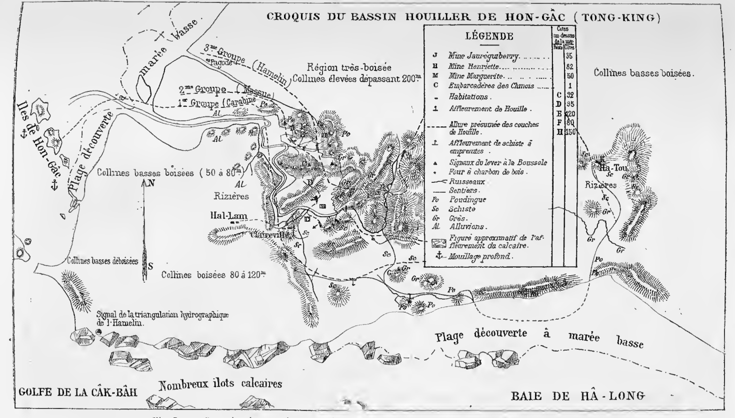


Fig. 31. — Carte du gisement de combustibles de Hon-Gâc (Tong-King), d'après MM. Fuchs et Saladin.

offrent de grandes analogies avec des espèces appartenant également aux flores de la base de l'époque jurassique.

La flore du Tong-King forme donc un lien intéressant entre les flores triasiques supérieures, rhétienne et jurassique inférieure de contrées très éloignées les unes des autres à la surface du globe, telles que l'Inde, l'Afrique australe et l'Europe occidentale.

Le bassin à lignite du Tong-King forme, d'après MM. Fuchs et Saladin, une bande presque continue, dirigée en moyenne du N. 70° E. vers le S. 70° O., et recouvre actuellement une longueur de près de 111 kilomètres parallèlement à la côte. La surface de tout ce bassin est occupée par des collines de médiocre élévation, atteignant 200 à 300 mètres environ. Ses régions houillères les plus intéressantes sont à Hon-Gâc et à Ké-Bao.

Le bassin de Hon-Gâc (fig. 30) s'étend sur une longueur de 10 kilomètres environ de l'est à l'ouest et une largeur de 8 kilomètres du nord au sud. Il est limité au nord par de hautes collines boisées difficiles à parcourir, qui paraissent s'appuyer régulièrement sur une feuille ou sur un pli de calcaire marbre, parallèle à la base de Hâ-Long, orientée en ce point de l'est à l'ouest. Cette muraille de rochers calcaires forme également la limite nord de la baie de Hon-Gâc, mais au delà on retrouve le terrain à houille affleurant au pied de la grande chaîne dont la crête sert de frontière entre la Chine et le Tong-King. On le connaît notamment à la sous-préfecture de Hoan-Bô, près de laquelle la houille vient affleurer. Dans toutes les autres directions le bassin de Hon-Gâc est entouré par la mer, dont il est parfois séparé par une imposante barrière de calcaire carbonifère très inclinée.

C'est à ce bassin qu'appartiennent, entre autres, les mines Henriette et Marguerite dont on trouvera la coupe fig. 31 et fig. 32.

Le bassin de Ké-Baô occupe une superficie de 180 kilomètres carrés. Il est entouré par la mer et, sur deux côtés, par les rochers de calcaire carbonifère. Au nord-nord-est, au contraire, ce calcaire, par suite du plongement des couches, est situé bien au-dessous du niveau de la mer et le bassin houiller lui-même s'enfonce sous les argiles et les grès versicolores qui forment le sommet de l'étage. Les couches de charbon ont été reconnues sur la rive sud-est auprès de laquelle on trouve d'excellents mouillages. Un des caractères du gisement de Ké-Bao est le grand développement des grès ferrugineux et du fer géodique intercalé entre les couches de charbon. Bien que ces minerais soient pauvres, ils méritent de fixer l'attention sur les régularités et le voisinage des couches de charbon. Le groupe des couches à houille qui affleure à Ké-Bao comprend cinq couches dont l'allure est fort régulière.

Indes. — Dans l'Inde et surtout dans la région supérieure de Damvoodah et dans le Burdwan, de grandes étendues de terrain sont occupées par la formation carbonifère, qui présente, en outre, des caractères géologiques spéciaux. Des missionnaires, MM. Hislop et Hunter, ont donné, en 1855, à la Société géologique de Londres, une description des plantes fossiles qu'ils ont trouvées dans certains grès houillers de ces contrées. Parmi ces plantes, quelques-unes appartiennent au genre de celles qu'on rencontre communément dans les terrains houillers de l'Europe; mais il en est d'autres, comme les *Zamites*, *Tænioptens*, *Glossopteris*, *Vertebraria*

Houille
Houille schisteuse
Schiste
Grès
Poudingue
Éboulis
Alluvions
Lits à empreintes végétales

Fig. 31. — Coupe géologique de la mine Henriette au Tong-King, d'après MM. Fuchs et Saladin.

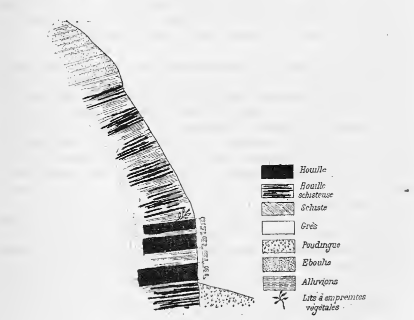


Fig. 32. — Coupe géologique de la mine Marguerite au Tong-King, d'après MM. Fuchs et Saladin.

et *Trizygia*, qui semblent se rattacher à l'époque jurassique. Il est encore certaines de ces plantes qui ont une analogie complète avec celles que renferme le terrain houiller de l'étage oolithique du Yorkshire-nord, ainsi qu'avec celles qu'on voit dans la Virginie ; mais le parallélisme est encore rendu plus frappant par la présence de quelques poissons fossiles du terrain jurassiquc, tels que le *Lepidotus* et l'*Echinodus* qu'on trouve dans les scbistes de Kolab, et qui semblent appartenir à la même formation que les couches de Nagpur.

M. Medlicott a découvert, en 1865, dans le district d'Assam, au sud de Brahmapoutra, plusieurs couches exploitables dont le charbon était de qualité supérieure à celui qu'on avait jusqu'ici trouvé dans l'Inde.

On exploite dans l'Inde sur plusieurs points des coucbes de charbon dont la flore est absolument différente de celle du terrain houiller proprement dit telle qu'on la connaît en Europe et en Amérique. M. Bunburg, dans son étude sur les plantes de Nagpur[1], avait fait remarquer dès 1861 les affinités de cette flore, d'une part avec la flore jurassique de l'Europe, d'autre part avec la flore des charbons de la Nouvelle-Galles du Sud. M. Hislop, dans une note faisant suite à cettc étude, se montrait porté à ranger les coucbes dc Nagpar au sommet du trias ou à la base du lias, tandis que M. Oldbam les rejetait dans la série palæozoïque.

Depuis lors, de nombreux travaux ont été faits par les membres du Geological Survey de l'Inde, la flore a été étudiée en détail par M. Freistmantel, ct M. Zeiller a donné de l'état de cette question le résumé suivant[2] :

Les dépôts de charbon de l'Inde appartiennent pour la plupart à un grand système de couches auquel on a donné le nom de *Gondwana system* et qui se divise en deux groupes, les gondwanas supérieurs et les gondwanas inférieurs[3]. Ces deux groupes reposent l'un sur l'autre en stratification discordante et paraissent séparés par une lacune d'une certaine importance, à en juger par les dénudations subics par les couches les plus élcvées du système inférieur avant le dépôt du système supérieur.

Les gondwanas supérieurs se subdivisent en deux étages. Le plus supérieur, représenté à Umia par des couches marines, renfcrme en ce point une coucbe que MM. Waagen et Stoliczka ont classée dans l'oolithe supérieur et dont l'étude leur a permis d'établir dans les couches marines de Cutch quatre subdivisions correspondant au bathonien, au callowien, à l'oxfordien et au portlandien. L'étage inférieur a fourni une riche flore renfermant une grande variété de tænioptéridées et beaucoup de cycadées de types très divers. M. Freistmantel, à raison de cette prédominance des cycadées et bien que certains types se rapprochent génésiquement de ceux de l'étage rhétien, a classé l'étage de Rajmahal dans le lias et M. Zeiller se range à cette opinion.

Les gondwanas inférieurs se divisent cn trois étages qui sont, en allant du sommet vers la base : ceux de Panchet, de Damuda et de Talchir. L'étage de Panchet renferme des *Schizoneura* ct des *Pecopteris* rhéticns, ainsi que des restes de *Dicynodon* et de *Labyrinthodon* analogues à ceux des couches triasiques. L'étage de Damuda rappelle intimement par sa flore notre grès bigarré. Enfin l'étage de Talchir et de

1. *Quarterly journal of the Geological Society*, t. XVII, p. 325.
2. *Annales des mines*, 8e série. t. II, p. 329.
3. *Manual of the Geology of India*, par MM. Medlicott et Blanford, Calcutta, 1879.

Karharbari fournit le *Voltzia heterophylla* et d'autres formes caractéristiques de la base du trias.

Chine. — Il est à rappeler ici que la Chine possède des dépôts de lignites jurassiques : c'est ce qui résulte des études paléontologiques d'Ad. Brongniart[1], de M. Newberry[2], de M. Schenck[3], etc.

Japon. — Des recherches dues à MM. Smith-Lyman et H.-S. Munroe[4] ont fait connaître divers combustibles du Japon. Relativement à l'âge de ces combustibles, ceux d'Horumui ressemblent beaucoup au charbon des Montagnes Rocheuses, qui est de la fin du crétacé ou du commencement du tertiaire. A Kayanoma, les couches de combustibles sont recouvertes par des roches volcaniques. Quant aux couches associées à ces combustibles, ce sont surtout des schistes gris ou bleuâtres; à Kayanoma on trouve un banc de calcaire d'un mètre, tandis qu'à Horumui il y a seulement des rognons calcaires qui renferment d'ailleurs des fossiles. Les axes de ces bassins de combustibles sont parallèles à la direction si nettement accusée des îles Kouriles.

Le tableau suivant donne quelques-uns des résultats obtenus :

	I	II	III	IV	V
Densité.	1.281	1.279	1.338	1.335	1.260
Coke.	57.50	61.02	»	60.96	60.55
Humidité	5.20	2.93	14.35	0.54	1.32
Carbone.	72.98	77.04	62.15	69.28	78.63
Hydrogène.	5.30	5.99	3.36	5.52	5.82
Oxygène et azote. . .	13.84	11.01	16.39	4.89	8.72
Soufre	0.35	0 54	2.11	3.49	0.66
Cendres.	2.33	2.79	1.64	16.28	4.85
Totaux.	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

I. Noir, à poussière noirâtre, donnant un coke tendre et friable; d'Horumui (Yesso).

II. Noir, dur, solide, brillant; brûle facilement, donne un coke solide et éclatant, de même volume que le charbon; de Sorachi (Yesso).

III. Noir, tendre, à structure montrant encore les fibres du bois; brûle facilement, en donnant une courte flamme; de Kadsuno, côte nord-est de Nippon.

IV. Noir, à poussière brun foncé; brûlant avec quelque difficulté; donne un coke dur, brillant, solide et poreux, qui gonfle à peu près de 40 pour 100; de Müke, au sud de Nippon.

V. Noir, brillant, dur, ressemblant au précédent; de Takoshima, province de Hizen.

Ces charbons du Japon diffèrent beaucoup, par leurs compositions chimiques et par leurs autres propriétés, des lignites ainsi que des charbons ayant le même âge;

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. II, p. 408.
2. *Description of fossil plants from the Chinese coal-bearing rocks* (appendice n° 1 aux *Geological researches in China, Mongolia and Japan* de M. Pumpelly (Philadelphie, 1866).
3. *Pflanzliche versteinerungen* dans le *China* de M. de Richtofen.
4. *Geological Survey of Hokkaido.*

ils donnent du coke et peuvent quelquefois servir à la fabrication du gaz ; ce sont de véritables charbons bitumineux qui se rapprochent des meilleures houilles carbonifères. Aussi sont-ils exploités dès à présent pour la navigation à vapeur et pour différents usages industriels.

États-Unis. — Les marais voisins du cap May sont remplis d'une vase noire où sont enfouis, à des profondeurs de 1 à 3 mètres, des troncs immenses de cèdres. Ces troncs, entassés les uns sur les autres, proviennent de forêts qui existaient autrefois sur cet emplacement. Aujourd'hui encore, on voit croître au bord de ces marais des arbres semblables à ceux qu'on trouve embourbés dans la vase.

La conservation sous l'eau de ces énormes troncs est due aux matières goudronneuses antiseptiques dont est chargée l'eau de ces marais.

Les vieux troncs de cèdres noyés dans la vase constituent des richesses pour les Américains.

Le terrain crétacé supérieur des montagnes rocheuses renferme d'épaisses couches de lignite.

Colombie. — Dans l'Amérique du Sud on peut citer le gisement houiller de Santa-Fé de Bogota, dans la Nouvelle-Grenade; les fossiles qu'on y trouve démontrent qu'il appartient à la formation crétacée. D'un autre côté, M. David Forbes a constaté la présence du terrain carbonifère près du lac de Titicaca, à une altitude de 3780 mètres au-dessus du niveau de la mer.

Brésil. — On a annoncé des découvertes importantes de véritables houilles dans l'empire du Brésil.

Chili. — L'opinion généralement admise est que le terrain houiller fait défaut dans les régions tropicales. On a bien trouvé çà et là quelques lignites, mais leur présence ne prouve qu'une chose, c'est qu'ils sont, dans ces latitudes, contemporains de formations récentes, tandis que l'existence du vrai terrain carbonifère n'a encore été constatée nulle part sous l'équateur. Ces lignites sont d'une grande valeur pour la navigation lorsqu'on peut les exploiter dans des régions accessibles aux bâtiments à vapeur, comme à Labuan, à Bornéo[1] et même sur les rives du Zambèze africain.

Depuis l'année 1825, on connaissait d'importants dépôts de charbons dans les provinces du sud du Chili, Conception et Arauco[2]. Examinées en 1835 par le superintendant de la Compagnie des vapeurs du Pacifique, ces couches furent en 1841 l'objet d'une étude plus complète. Toutefois, ce ne fut qu'en 1853 que se forma, à 12 kilomètres environ au sud de Conception, au pied d'un promontoire appelé Pointe de Puchoco, au fond de la baie de Coronel, la petite ville de Coronel, qui devait prendre bientôt, grâce à la richesse des gisements reconnus et à la bonne qualité du combustible, un développement considérable. Deux ans plus tard, en 1855, dom Mathias Cousino établissait une exploitation à Lota, à

1. Voyez le *Quarterly Journal of Geological Society*, vol. IV, p. 96, et vol. IX, p. 54.
2. Bouvart. *La Nature*, 5e année, 1877, 2e semestre, p. 175.

11 kilomètres au sud de Coronel. Peu après, de hardis pionniers s'avançant davantage encore sur un territoire à peine conquis par les Araucans, commençaient des travaux de recherches, bientôt couronnés de succès, à Lebu (fig. 33), à l'embouchure de la rivière du même nom, distante de 13 lieues de Lota.

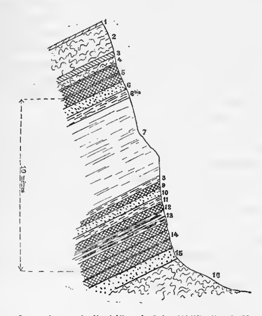


Fig. 33. — Coupe de terrain lignitifère de Lebu (Chili), d'après M. A. Bouvard.

1. Lit d'argile compacte. — 2. Grès gris tendre de 4 à 5 mètres. — 3. Argile compacte. — 4. Grès blanc demi-dur. — 5. Couche de lignite avec deux lits de pyrite, $0^m,60$ à $1^m,10$. — 6. Argile. — 6 *bis*. Argile schisteuse, $0^m,80$ à 1 mètre. — 7. Grès bleuâtre à grains fins, bigarré, 5 à 7 mètres. — 8. Argile schisteuse. — 9. Charbon impur, $0^m,10$. — 10. Argile plastique. — 11. Argile schisteuse, $0^m,70$. — 12. Lignite avec toit de pyrite, $0^m,10$ à $0^m,20$. — 13. Argile schisteuse avec feuillets de charbon, 1 mètre. — 14. Lignite, $1^m,20$ à 3 mètres. — 15. Argile, $0^m,50$. — 16. Grès.

Ces établissements ne cessèrent dès lors de prospérer, et bientôt ce n'était plus seulement sur le littoral araucanien, mais à l'extrémité sud de la Patagonie, à Punta-Arenas, dans le détroit de Magellan, où depuis longtemps déjà on avait trouvé des fragments de lignites roulés par les rivières, que des recherches sérieuses étaient entreprises.

Lorsqu'en 1873 il se produisit sur les houilles anglaises une hausse si considérable, les travaux prirent un nouvel essor ; les anciennes exploitations se développèrent, de nouvelles purent se grouper dans les environs ou former un nouveau centre, comme à Corampangen, dans la baie d'Aranco. On reconnaissait encore, mais sans y établir d'exploitation, des gisements importants dans l'île de Chiloé, à Pargas; dans le département de Valdivia, à Augachilla, à Centinela, à Quinchilca, à Pideï, et dans celui de la Umañi, près de Catamutun, à 20 kilomètres au nord-ouest de la capitale du département. Enfin, les recherches s'étendant de jour en jour, on a reconnu l'existence de gisements de charbon dans les environs mêmes de Valparaiso et jusque dans la province d'Atacama, près de Puquios. Il y a donc tout

lieu de croire que partout où les granits de la Cordillère de la côte disparaissent pour faire place au terrain tertiaire, les recherches ultérieures mettront à jour de nouveaux gisements du précieux combustible.

Les couches de charbon, actuellement exploitées au Chili, c'est-à-dire celles qui ont été reconnues sur la côte du Pacifique, depuis Topocatina jusqu'à Magellan, appartiennent toutes en effet à l'espèce lignite et datent de la période tertiaire.

Les autres de moindre importance, au point de vue industriel, qu'on a rencontrées plus à l'intérieur, sont des lignites des terrains secondaires des Andes, et dont les couches assez irrégulières sont subordonnées à des porphyres métamorphiques. Cette espèce, très répandue, mais jamais en grandes proportions dans la Cordillère de Raucagua, est toujours fibreuse et a l'apparence du bois. Elle n'est jusqu'à présent l'objet d'aucune exploitation.

Les lignites tertiaires se rencontrent en gisements de puissance très variable au milieu de couches de grès, de schiste et d'argile parfaitement déterminées.

Les lignites se présentent en couches généralement régulières, peu inclinées et souvent divisées en bancs par des lits de pyrite noire, à aspect métallique, parallèles à la stratification. Ce lignite est de couleur noire très compacte, à cassure conchoïdale, d'aspect résineux. Mêlé aux houilles maigres d'Angleterre, il donne des résultats excellents, soit pour le chauffage des machines, soit pour les fonderies de cuivre et de plomb.

Les chiffres suivants, empruntés au *Traité des Essais*, du savant doyen de l'Université du Chili, M. Ignacio Domeyko, feront connaître avec exactitude la composition de quelques-uns de ces lignites.

Essai d'un lignite de Coronel :

Carbone	70,71
Hydrogène	6,44
Azote, oxygène, soufre, etc.	16,93
Cendres	6,92
	100,00

A la distillation on a obtenu :

Eau et huiles volatiles	18,26
Huiles lourdes, goudron	19,88
Gaz	12,52
Coke	49,34
	100,00

Lignite de Colchagua :

Eau	21,5
Huiles	34,6
Coke	42,8
Cendres	1,1
	100,0

Avec un pouvoir calorifique de 5704 calories.

Lignites de Magellan :

Eau	24,0
Goudron	7,5 à 13,0
Gaz	27,0 à 19,0
Coke	45,0
Cendres	5,1 à 7,4

Le coke obtenu dans ces diverses distillations a toujours été léger, friable, avec des nuances changeantes bleues et violacées.

En 1870, M. Fuchs a étudié le bassin de combustibles de la Ternera dans le désert d'Atacama, près de l'ancienne frontière commune du Chili et de la Bolivie. Il consiste en grès feldspathiques et en schistes à empreintes végétales avec couches de charbon, le tout plié et redressé et surmonté, en stratification discordante, par les puissantes assises toujours inclinées d'une grande formation de grès et d'argilolithes aux couleurs vives avec intercalation et imprégnation de sel et de minerais cuivreux.

Les empreintes renfermées dans les schistes ont été étudiées par MM. Schimper et Zeiller[1], qui n'y ont reconnu que des espèces rhétiennes.

Le lignite de Lota, décrit par MM. Mallard et Fuchs[2] a été exploré par M. Louis Agassiz[3], qui le considère comme incontestablement crétacé. Il est en effet recouvert par des couches contenant des baculites. Il est possible du reste qu'il y ait sur la même côte du Chili des lignites les uns crétacés et les autres tertiaires.

Nouvelle-Zélande. — La Nouvelle-Zélande possède des lignites d'excellente qualité.

§ III. APPLICATIONS DES LIGNITES.

Les applications industrielles des lignites sont très nombreuses et très variées et nous avons dû en citer déjà quelques-unes au cours des descriptions précédentes.

Les belles variétés compactes connues sous le nom de *jayet* ou de *jais* sont recherchées comme matières premières d'objets d'ornement et spécialement de parures de deuil. On les imite même, vu leur prix, avec de la verroterie noire, qui a le grave inconvénient d'être beaucoup plus lourde.

Les lignites xyloïdes sont souvent employés comme le bois lui-même, et leur compacité les rend propres à recevoir un poli très fin, aussi en fait-on parfois de petits objets tels que boîtes, vases, coupe-papier, etc.

Souvent on peut avec des lignites faire ce qu'on fait avec le bois ordinaire. En Islande, le surturbrandur sert comme charpente. Dans la Grande Brière (Loire-Inférieure) et ailleurs, des troncs d'arbres lignitifiés sont taillés en feuilles de parquet.

On sait que beaucoup de lignites servent au chauffage, et c'est même une de leurs

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. III, p. 572.
2. *Annales des Mines*, 1872.
3. *American Journal*, 1872, t. IV, p. 145.

principales applications. On a même vu que beaucoup de prétendues houilles ne sont que des lignites.

Certaines variétés de lignite, aux environs de Halle et à Rott, près Bonn (en Prusse), sont utilisées pour la fabrication de l'huile minérale et de la paraffine.

Tout autour de Paris et dans bien d'autres contrées, les lignites pyriteux servent comme matière première de la fabrication des aluns et du sulfate de fer.

C'est un lignite qui, sous le nom de *terre d'ombre*, sert en peinture comme matière colorante brune.

CHAPITRE III

LA HOUILLE

Parmi les combustibles minéraux, la houille occupe une place tout à fait exceptionnelle. Ce chapitre devra donc prendre des proportions plus vastes que les autres; les points de vue à adopter successivement étant très nombreux et très importants.

§ I. CARACTÈRES PHYSIQUES DE LA HOUILLE.

La houille, bien connue de tout le monde, est une substance noire, opaque, tendre, s'allumant et brûlant facilement avec flamme et répandant une odeur bitumineuse, fondant, se gonflant pendant la combustion, de manière à ce que les morceaux se collent entre eux ; donnant, lorsqu'elle a cessé de flamber, un charbon léger, poreux, solide, dur, d'un éclat métallique, à surface largement mamelonnée.

Le poids spécifique de la houille varie de 1 à 1.6.

§ II. COMPOSITION CHIMIQUE DE LA HOUILLE.

Dans l'examen des combustibles minéraux[1], les difficultés sont encore plus grandes que pour les matières organiques proprement dites; la combustion complète exige un oxydant plus énergique que l'oxyde de cuivre, et l'appareil ordinaire doit être un peu modifié.

Il faut suppléer à l'insuffisance de l'oxyde de cuivre en faisant traverser le tube à combustion, pendant toute la durée de l'opération, par un courant d'oxygène pur et parfaitement sec. Le chlorate de potasse placé dans l'appareil ordinaire ne pourrait pas produire la quantité de gaz nécessaire, il faut le remplacer par un courant continu d'oxygène, sortant d'un gazomètre à eau. Le tube à combustion (fig. 17) est ouvert à ses deux extrémités. Il contient de A à A′ de l'oxyde de cuivre, sur une longueur de $0^m,10$ environ; le mélange de 2 grammes de combustible avec

1. Rivot, *Docimasie*, p. 55.

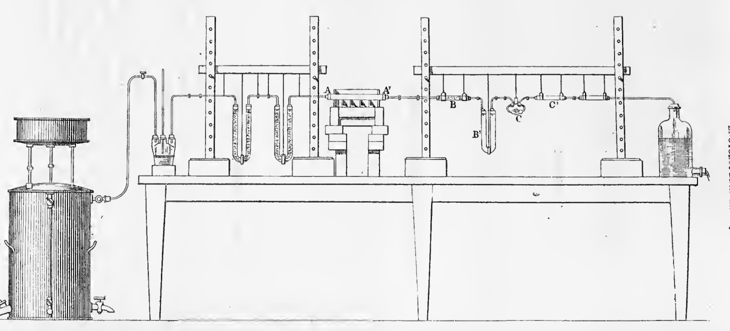


Fig. 34. — Appareil pour le dosage de l'hydrogène et du carbone dans les combustibles et spécialement dans les houilles, d'après Rivot.

20 grammes d'oxyde de cuivre; de l'oxyde de cuivre, occupant dans le tube une longueur d'au moins $0^m,20$.

Ces matières doivent être desséchées et ensuite introduites dans le tube avec les mêmes précautions que dans les analyses organiques ordinaires.

A l'extrémité A on adapte la partie de l'appareil qui est destinée à produire le courant d'oxygène pur et sec; elle comprend : un grand gazomètre à eau remplit d'oxygène.

Un petit flacon laveur, contenant de l'acide sulfurique concentré; deux grands tubes en U, renfermant, le premier de la pierre ponce imprégnée d'acide sulfurique; le second, de la potasse en petits fragments. A l'autre extrémité A′ du tube à combustion sont placés les tubes pesés à chlorure de calcium B, B′ et à potasse, C et C′, destinés à recueillir l'eau et l'acide carbonique produits dans l'opération, enfin, un petit tube à potasse solide, non pesé, et un flacon aspirateur destiné à régulariser et à faciliter le mouvement du gaz, le dernier tube à potasse solide empêche la vapeur d'eau du flacon aspirateur de remonter le courant gazeux, et d'atteindre les tubes pesés.

Opération. — L'appareil étant monté, on fait passer pendant huit ou dix minutes un courant d'oxygène; on vérifie que les bouchons et les tubes en caoutchouc ferment hermétiquement; on pèse ensuite les tubes B, B′, C, C′. On les remet en place, et on chauffe progressivement jusqu'au rouge le tube à combustion de A′ vers A. On a soin de faire marcher la combustion assez lentement pour que les gaz traversent bulle à bulle la dissolution de potasse contenue dans le tube C. Quand on pense que tout le combustible est brûlé, ce qui n'exige pas moins de deux heures, on fait encore passer l'oxygène pendant quelques minutes, puis on pèse les tubes B, B′, C, C′. Leur augmentation de poids donne l'eau et l'acide carbonique; elle permet de calculer l'hydrogène et le carbone contenus dans les deux grammes du combustible sur lequel on a opéré.

La qualité la plus essentielle des combustibles destinés au chauffage est de brûler en produisant beaucoup de chaleur, soit dans le foyer lui-même par la combustion directe, soit à une certaine distance, par les flammes auxquelles donnent lieu les produits de la distillation.

En outre, et principalement pour les usages métallurgiques, le combustible doit s'agglomérer très peu et ne pas se diviser en menus fragments, car dans les deux cas l'appel de l'air par la grille serait rendu difficile. La proportion et la nature des cendres exercent également une influence très grande sur l'activité de la combustion.

Les pyrites, et en général les sulfures métalliques, produisent dans les flammes de l'acide sulfureux et de l'acide arsénieux qui peuvent être très nuisibles à la qualité des métaux dans un certain nombre d'opérations.

Pour les pyrites, comme pour les matières terreuses et métalliques, irrégulièrement disséminées, l'examen du combustible sur le carreau de la mine, ou dans les magasins de l'usine, donne des indications parfaitement suffisantes. Au laboratoire, on doit seulement étudier la manière dont le combustible se comporte au feu; déterminer la proportion des matières volatiles, leur pouvoir calorifique et celui du

combustible lui-même; examiner la nature des matières terreuses intimement mélangées.

Il n'y a pas lieu de s'occuper spécialement de l'eau hygrométrique, que les combustibles minéraux contiennent en général en proportion très faible, et qui est peu variable suivant les conditions atmosphériques. Ce n'est que dans des cas spéciaux, par exemple quand on cherche à se rendre compte de l'altération subie par des charbons longtemps exposés à l'air et à la pluie, qu'il est nécessaire de doser séparément l'eau hygrométrique; cette détermination se fait avec les précautions ordinairement observées pour le bois.

D'après ces observations, les opérations auxquelles on doit soumettre au laboratoire les échantillons, convenablement choisis, des combustibles destinés au chauffage, sont :

1° La combustion directe dans un foyer fortement chauffé ;

2° La calcination dans un creuset, donnant la proportion des matières volatiles;

3° L'incinération, suivie de l'analyse des cendres.

4° La détermination du pouvoir calorifique, par fusion avec de la litharge.

Le but de la première opération est de faire reconnaître de quelle manière le combustible proposé se comportera quand il sera chargé, à intervalles plus ou moins écartés, dans le foyer qu'il doit alimenter ; il faut se rapprocher, autant que le permet la disposition des fours du laboratoire, des conditions de l'emploi industriel.

Il suffira de considérer ici un seul exemple, celui des combustibles destinés aux fours à réverbère, employés dans la métallurgie du fer. Dans ce cas on peut opérer de la manière suivante :

On chauffe aussi fortement que possible avec du charbon de bois au four de calcination ordinaire ; puis sur les charbons enflammés on jette une certaine quantité, de 1 à 2 kilogrammes, du combustible proposé, réduit en fragments de la grosseur d'une noix, ou même un peu plus gros. On place le cône sur le four afin d'entretenir un tirage suffisamment actif, et de temps en temps on le soulève pour examiner de quelle manière se fait la combustion. On observe : si les fragments se collent les uns avec les autres ; s'il y a, au contraire, décrépitation, si la flamme produite est brillante ou enfumée, longue ou courte; si cette flamme persiste longtemps ; on cherche à reconnaître, à l'odeur que répand la combustion dans le laboratoire, si le charbon proposé est de la houille ou du lignite. La distinction entre les houilles et les lignites à l'odeur exige une assez grande habitude, et, bien entendu, on ne doit recourir à ce moyen que dans le cas où la localité d'où provenait le combustible est inconnue, ou quand l'âge géologique de la formation n'a pas encore été déterminé.

Les résultats observés dans la combustion ne sont pas de nature à être traduits par des nombres; ce sont des appréciations qu'il est utile de consigner dans le procès-verbal de l'essai; elles acquièrent une grande valeur pour la comparaison des qualités de divers combustibles minéraux, quand elles sont faites par un chimiste exercé à ce genre d'opération.

La calcination se fait ordinairement dans un creuset de platine taré, placé dans un creuset de terre beaucoup plus grand; l'intervalle entre les deux couvercles est rempli de menus fragments de charbon de bois. On chauffe rapidement au rouge

très vif dans un four de calcination, et l'on maintient cette température pendant au moins une demi-heure. Après refroidissement, on pèse le creuset de platine; l'augmentation de poids donne le résidu fixe, qui comprend le carbone fixe et les matières terreuses ou métalliques, plus ou moins altérées par la calcination : par différence, on calcule la proportion des matières volatiles.

Le combustible, placé dans le creuset, doit être pulvérisé, ou réduit en sable fin; on distingue alors plus aisément, à l'aspect du résidu, s'il y a agglomération ou boursouflement par calcination, ou bien si la matière a conservé sa forme et son état pulvérulent. Comme ce sont les matières bitumineuses qui produisent la fusion et ensuite le boursouflement, on peut déduire de l'état du résidu des indications utiles sur la présence ou sur l'absence de ces matières bitumineuses.

Le résidu porte le nom de coke seulement quand il est notablement aggloméré; dans le cas contraire, il n'est pas désigné par un nom spécial. Quel que soit son état physique, il est un peu hygrométrique, et doit être pesé avec les précautions déjà signalées pour le charbon de bois.

Le poids du résidu fixe varie un peu avec le mode de calcination; il est moins fort quand la température est élevée très rapidement que lorsqu'on chauffe très progressivement : la différence est plus grande pour les lignites que pour les houilles proprement dites, et surtout que pour les houilles anthraciteuses; mais elle est toujours moins forte que celle observée dans la calcination lente ou rapide du bois. Il est encore assez important de conduire l'opération toujours de la même manière, quand on veut obtenir des nombres comparables pour une série d'échantillons de combustibles minéraux.

Les essais faits jusqu'à présent sur un grand nombre de combustibles indiquent que la proportion des matières volatiles est, généralement, de plus en plus grande à mesure que les charbons minéraux étudiés sont d'une époque plus récente; mais il faut bien se garder de poser cette loi d'une manière trop absolue; quelques éruptions ont été déjà signalées, d'autres le seront probablement encore. Assez ordinairement le résidu de la calcination des lignites n'est pas aggloméré; cependant quelques couches de lignites produisent du coke d'assez bonne qualité pour être employé dans les hauts fourneaux : seulement, quand le cas se présente, la proportion de coke obtenue est inférieure à celle que donnent les houilles grasses de la formation carbonifère.

Pour déterminer la proportion de cendres que laissent les combustibles minéraux, on peut opérer sur les combustibles eux-mêmes, finement pulvérisés, toutes les fois qu'ils ne contiennent pas assez de matières bitumineuses pour s'agglomérer à la chaleur rouge : dans le cas contraire, il vaut mieux employer le coke obtenu par la calcination, et le brûler sous le moufle après l'avoir porphyrisé.

Les cendres sont pesées après une forte calcination, et ensuite soumises à l'analyse, quand cela paraît utile. Elles contiennent le plus ordinairement du sable quartzeux, de l'argile, de l'oxyde de fer, de la chaux, un peu de silicate d'alumine, de chaux et d'oxyde de fer, une petite quantité de sulfate de chaux; plus rarement elles renferment un peu d'arséniates et de phosphates de chaux et d'oxyde de fer. Les silicates et le sulfate de chaux proviennent de l'action du quartz et de l'argile sur la chaux et l'oxyde de fer, et de l'action sur la chaux de l'acide sulfurique produit par le grillage des pyrites. On n'a pas encore signalé la

présence des sels alcalins dans les cendres minérales; mais cela peut provenir des difficultés qu'on rencontre à doser, et même seulement à reconnaître, de petites quantités d'alcalis en présence de la silice, de l'alumine, de l'oxyde de fer et de la chaux, relativement en très grand excès.

La proportion des cendres dans les divers charbons minéraux est extrêmement variable : il est rare qu'elle soit inférieure à 2 pour 100; assez ordinairement elle varie entre 5 et 10 pour 100, et il n'est pas extraordinaire de trouver, dans des échantillons *choisis* des houilles employées en métallurgie, de 14 à 16 pour 100 de cendres, provenant des matières minérales qui sont intimement mélangées avec le charbon, et qu'il serait difficile de séparer par triage et même par lavage.

Dans les cendres minérales, le fer et le soufre se trouvent à l'état de peroxyde de fer et de sulfate de chaux, tandis que dans le résidu fixe de la calcination, ces deux corps existent à des états bien différents, fer métallique, protoxyde de fer, protosulfure de fer, ou sulfure de calcium : le poids des cendres n'est donc pas égal à celui des matières terreuses et métalliques que contient le résidu de la calcination. Par conséquent, en retranchant du poids de ce récidu celui des cendres, pour avoir le carbone fixe, on commet une erreur qui peut être notable, et qui varie avec la proportion de fer et de soufre. Cette erreur est inévitable, et l'on ne peut en avoir qu'une limite approchée en cherchant à se rendre compte, d'après l'analyse des cendres, de la quantité d'oxygène absorbée par le fer et par le soufre pendant l'incinération. Il est, d'ailleurs, toujours nécessaire de peser les cendres fortement calcinées; sans cette précaution, elles pourraient contenir une proportion variable de carbonate de chaux.

On détermine le pouvoir calorifique des combustibles minéraux par fusion avec la litharge, en opérant de grandes précautions : le résultat obtenu est un peu moins incertain que celui fourni par l'étude du bois, parce que les combustibles peuvent être facilement réduits en poussière très fine, et par suite mélangés très intimement avec l'oxyde de plomb. De plus, leur distillation ne commence qu'à une température plus élevée; on n'a pas autant à craindre de perdre par distillation une partie des matières qu'on veut faire agir sur la litharge.

Il faut avoir soin de choisir pour cette expérience des fragments de charbon bien exempts de pyrites et d'autres sulfures métalliques, car ces composés réduisent également l'oxyde de plomb, et le poids du métal obtenu ne se rapporterait pas au combustible lui-même.

En désignant par P le poids de plomb obtenu, le rapport $\frac{P}{34}$ donne le pouvoir calorifique, c'est-à-dire la proportion de carbone pur à laquelle équivaut le combustible proposé. En retranchant de ce nombre le poids du carbone fixe, on a la proportion de carbone à laquelle équivalent les matières volatiles.

On obtient de cette manière des indications utiles sur le pouvoir calorifique du combustible lui-même et des produits de sa distillation. On n'est cependant pas en droit de conclure de ces nombres que tel ou tel combustible pourra produire dans les foyers, ou sur les soles des fours, une chaleur plus élevée que tel ou tel autre. Les expériences faites en grand dans les usines sont nécessaires pour confirmer ou pour infirmer les inductions qu'on serait porté à tirer des résultats obtenus au laboratoire.

La qualité du coke dépend de la nature de la houille soumise à la carbonisation, et en même temps de la forme et des dimensions des fours employés; elle dépend aussi de la durée de l'opération et du mode de refroidissement adopté. Cette qualité ne peut donc pas être indiquée, même approximativement, par des essais faits au laboratoire sur de petites quantités de matières. On peut seulement déterminer le poids maximum de coke qu'il sera possible d'obtenir en grand, évaluer la proportion des cendres et en faire l'analyse. Quant à ce qui est relatif aux cendres, il ne faut pas perdre de vue que les matières étrangères, terreuses ou métalliques, sont en grande partie disséminées très irrégulièrement dans les couches de houille, et qu'on ne peut s'occuper au laboratoire que de la partie de ces matières qui se trouve en mélange intime avec le combustible.

Un échantillon de houille destiné à la fabrication du coke doit être soumis aux opérations suivantes : 1° une calcination au rouge vif, à l'abri du contact de l'air, donnant la proportion du coke, et par différence celle des matières volatiles; 2° l'incinération du coke obtenu et l'analyse des cendres.

La détermination du pouvoir calorifique, par fusion avec la litharge, ne donnerait aucun renseignement utile pour le but proposé, même dans le cas spécial où l'on cherche, dans la carbonisation en grand, à utiliser les produits de la distillation de la houille.

La calcination se fait ordinairement sur 5 grammes de combustible pulvérisé : on opère dans un creuset de platine assez grand pour que le boursouflement, produit par la décomposition des substances organiques, ne fasse pas sortir une partie de la matière du creuset. Généralement on chauffe rapidement jusqu'au rouge vif, et l'on retire le creuset après une demi-heure de feu. Cependant il y a lieu d'opérer un peu différemment dans quelques cas spéciaux. Quand l'échantillon proposé contient des pyrites, il est prudent de remplacer le creuset de platine par un creuset de porcelaine, parce que le platine serait plus ou moins attaqué par le soufre des pyrites; cette précaution est indispensable quand on reconnaît la présence de la pyrite arsenicale, ou même seulement quand on la soupçonne.

La calcination rapide donne toujours moins de coke qu'on n'en obtiendrait si l'on élevait lentement la température; le poids obtenu est cependant supérieur au rendement pratique donné par les fours les plus ordinairement employés, dans lesquels on introduit une quantité limitée d'air sur le combustible; la chaleur produite par la combustion partielle est le principal agent de la carbonisation. Dans ces conditions, la distillation se fait lentement dans la masse de combustible, mais une partie de la houille est brûlée; il ne peut donc y avoir aucune relation entre les poids de coke obtenus au laboratoire dans un creuset, et en grand dans les fours. Dans l'essai fait au creuset on n'a aucun intérêt à chauffer lentement ou rapidement, puisque toujours on doit obtenir plus de coke que dans le traitement industriel. Il suffit, pour la comparaison des différentes qualités de houille, de conduire la calcination de la même manière pour toutes.

Il n'en est pas de même quand la carbonisation industrielle doit être faite en vases clos, dans le but d'utiliser les produits de la distillation; dans ce cas, l'opération en grand et la calcination dans un creuset peuvent être rendues comparables, l'essai en petit peut indiquer, au moins approximativement, la proportion de coke qu'on doit produire en grand; il devient très important de conduire la

calcination avec la plus grande lenteur, dans le but de se rapprocher autant que possible des conditions de la pratique. Cependant il est utile d'observer qu'il est difficile de porter une masse un peu considérable de combustible à une température aussi régulièrement élevée que lorsqu'on opère dans un creuset sur 5 grammes; il résulte de là que, pour le cas spécial considéré maintenant, l'essai au laboratoire doit donner moins de coke que les fours industriels.

L'incinération du coke et l'analyse des cendres n'exigent aucune observation nouvelle. La composition des cendres permet de rétablir *approximativement* la constitution des matières terreuses et métalliques qui existent dans le coke; il faut faire cette interprétation des résultats de l'analyse des cendres, toutes les fois qu'on tient à se rendre compte de l'influence fâcheuse que les matières étrangères, contenues dans le coke pourraient exercer sur les qualités des métaux à produire.

Quand, au contraire, on cherche seulement à déterminer la composition des lits de fusion dans l'opération métallurgique, on n'a besoin de considérer que l'analyse des cendres elles-mêmes. C'est là le cas qui se présente le plus généralement, et pour ce motif les chimistes ajoutent ordinairement au tableau de l'essai la composition des cendres, en laissant aux métallurgistes qui emploient le coke le soin d'interpréter les résultats suivant qu'ils en ont besoin.

Pour les combustibles destinés à la fabrication du gaz d'éclairage, la calcination donne la proportion des matières volatiles; elle fait connaître, par le boursouflement du coke, si le combustible est chargé de matières bitumineuses. Après avoir pesé le coke, on doit l'incinérer et peser les cendres, afin de calculer approximativement le poids de carbone fixe contenu dans le résidu de la distillation.

Par la fusion avec la litharge, on a le pouvoir calorifique du combustible; on en conclut la proportion de carbone pur équivalant aux matières volatiles, ce qui permet une appréciation de la richesse en carbone et en hydrogène de ces matières volatiles.

On obtiendrait peut-être des résultats plus directement applicables à la pratique en faisant l'analyse organique des combustibles proposés, et en prenant pour terme de comparaison la composition organique d'une houille dont les qualités sont bien constatées dans une usine à gaz. Les combustibles les plus hydrogénés donnent très probablement le gaz le plus éclairant.

Presque tous les combustibles minéraux contiennent, à l'état de mélange très irrégulier, divers sulfures métalliques, et principalement des pyrites; on trouve même, dans un certain nombre de couches de houille et de lignite, des lamelles de sulfate de chaux. Il est bien rare qu'on ait un intérêt véritable à doser le soufre dans les combustibles, en raison de la difficulté à peu près insurmontable que présente la chaux d'un échantillon moyen; cependant, ce dosage pouvant être utile dans quelques cas particuliers, il est nécessaire d'indiquer de quelle manière il peut être fait.

Supposons qu'on ait à doser le soufre dans un échantillon de houille, pris avec tous les soins convenables et représentant approximativement un tas un peu considérable de combustible; admettons que la houille contienne en même temps du sulfate de chaux et des sulfures métalliques. L'examen de l'échantillon comprend deux séries d'opérations : l'une pour le dosage du soufre qui se trouve à l'état de sulfate de chaux; l'autre pour la détermination du soufre des sulfures métalliques.

Le sulfate de chaux se présente généralement dans la houille en lamelles parfaitement visibles: on peut donc reconnaître assez aisément si l'échantillon proposé en renferme peu ou beaucoup, et par conséquent savoir sur quel poids il faut opérer pour avoir une quantité notable de sulfate à doser; il faut quelquefois prendre jusqu'à 25 grammes pour ce dosage.

La houille bien porphyrisée est mise en digestion, à froid, dans un volume d'eau considérable, au moins 3 litres; on agite fréquemment et l'on ne filtre qu'après deux, ou même trois jours. Avec ces précautions on peut admettre que la liqueur filtrée contient tout le sulfate de chaux; on l'acidifie par l'acide chlorhydrique, et on précipite l'acide sulfurique par le chlorure de baryum. Le sulfate de baryte, précipité dans une liqueur très étendue, se lave avec facilité et il est inutile de chercher à le purifier de la petite quantité de sulfate de chaux qu'il a pu entraîner; il est calciné et pesé; son poids correspond à :

13,78	pour 100	de soufre,
34,38	—	d'acide sulfurique,
58,74	—	de sulfate de chaux.

Pour le soufre à l'état de sulfure, il est impossible de se servir d'eau régale seule, comme agent d'oxydation du soufre; en présence de l'excès de charbon, l'eau régale ne fait passer à l'état d'acide sulfurique qu'une fraction très minime du soufre, la plus grande partie reste sous forme de pellicules, qu'il n'est pas possible de séparer du charbon.

La fusion avec du nitre, du carbonate de potasse et de la potasse, n'est pas non plus applicable; on parviendrait bien à brûler tout le soufre, mais à la condition d'oxyder en même temps tout le charbon, c'est-à-dire en employant un énorme excès de nitre; de plus, il faudrait modérer l'action très vive du combustible sur le nitre, en mélangeant avec ces matières un poids considérable de carbonate alcalin. Il faudrait employer pour cette fusion un creuset de dimensions tout à fait incommodes, inusitées dans les laboratoires. Le chlore, en présence de la potasse, est le seul agent d'oxydation qui puisse être appliqué avec succès; l'opération doit être conduite comme pour le caoutchouc.

On opère le dosage du soufre combiné avec les métaux sur une partie de la matière qui a été traitée par l'eau, reçue sur le filtre et séchée à 100°; on en prend de 2 à 10 grammes suivant la teneur probable en soufre, et on l'attaque par l'acide azotique concentré. Après avoir laissé l'acide agir pendant quelques heures, on ajoute de l'eau, puis une dissolution concentrée de potasse, et l'on fait arriver du chlore pendant dix ou quinze minutes. La houille est dissoute, le plus souvent en partie, quelquefois en totalité; le soufre est toujours en entier dans la liqueur alcaline, à l'état d'acide sulfurique. La partie insoluble est lavée par décantation; dans la liqueur, acidifiée par l'acide chlorhydrique, l'acide sulfurique est précipité par le chlorure de baryum.

Voici, d'après Regnault, la composition d'un certain nombre de houilles :

DÉSIGNATION des combustibles.	LOCALITÉS d'où ils proviennent.	NATURE du coke.	DENSITÉ.	COMPOSITION				DÉDUCTION FAITE DES CENDRES.				1000 ATOMES de carbone sont unis avec atomes	
				Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	Coke donné à la calcination.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Hydrogene.	Oxygène
Houilles	Obernkirchen	Très boursouflé.	1,279	89,50	4,83	4,67	1,00	77,8	90,40	4,88	4,72	661	40
	Ceral	Fritté	1,294	75,35	4,74	9,02	10,86	53,3	84,56	5,32	10,12	771	92
	Noroy	Pulvérulent	1,410	63,28	4,35	13,17	19,20	51,2	78,52	5,38	16,30	841	159
Houilles grasses et dures	Alais (Rochebelle)	Boursouflé	1,322	89,27	4,85	4,47	1,41	77,7	90,55	4,92	4,53	666	38
	Rive-de Gier	Id.	1,315	87,85	4,90	4,29	2,96	76,5	90,53	5,05	4,42	684	37
Houilles grasses et maréchales.	Rive-de-Gier	Très boursouflé.	1,298	87,45	5,14	5,63	1,78	68,5	89,04	5,23	5,73	719	49
	Grand'Croix	Id.	1,302	87,49	4,86	5,91	1,44	69,8	89,07	4,93	6,00	678	51
	Newcastle	Id.	1,280	87,95	5,24	5,41	1,40	»	89,19	5,31	5,50	729	47
Houilles grasses à longue flamme	Flénu de Mons	1 boursouflé	1,276	84,67	5,29	7,94	2,10	»	86,49	5,40	8,11	765	72
		2 Id.	1,262	83,87	5,42	7,03	3,68	»	87,07	5,63	7,30	782	64
	— Cimetière	1 boursouflé	1,288	82,04	5,[illegible]7	9,12	3,57	70,9	85,08	5,46	9,46	786	85
		2 Id.	1,294	84,83	5,61	6,57	2,99	69,1	87,45	5,77	6,78	808	59
	— de Gouzon	1 boursouflé	1,298	82,56	5,59	9,11	2,72	64,6	84,89	5,75	9,36	830	84
		2 Id.	1,311	81,71	4,99	7,98	5,32	65,6	86,30	5,27	8,43	748	75
	Lavaysse	Boursouflé	1,214	82,12	5,27	7,48	5,13	57,9	86,56	5,56	7.88	787	70
	Lancashire	Id.	1,317	83,75	5,66	8,04	2,55	57,9	85,81	5,85	8,34	834	74
	Épinac	Id.	1,353	81,12	5,10	11,25	2,53	62,5	83,22	5,23	11,55	769	106
	Commentry	Id.	1,319	82,72	5,29	11,75	0,24	63,4	82,92	5,30	11,78	783	117
Houilles sèches à longue flamme.	Blanzy	Fritté	1,362	76,48	5,23	16,01	2,28	57,0	78,26	5,35	16,39	837	160

On emploie pour le chauffage des locomotives du chemin de fer métropolitain de Londres une houille anthraciteuse provenant de Bwlfa-Merthyr, dans le pays de Galles, remarquable par la rareté de ses cendres. Elle contient :

Carbone	87,90
Matières volatiles	11,50
Cendres	0,50
	100,00

L'analyse du charbon des mines du sud du bassin de Moscou a donné les résultats suivants :

GISEMENTS	EAU pour 100	CARBONE pour 100	MATIÈRES VOLATILES pour 100	CENDRES pour 100
Kievtzi	»	22,5	27,8	49,7
Zelenino	»	30 à 33	46 à 48	21
Gisdra	5 à 7	22 à 33	16 à 42	17 à 55
Znamenskoé	20	23	33	23

Composition des charbons des mines situées à l'est de l'Oka (mines faisant partie, comme les précédentes, du sud du bassin de Moscou) :

GISEMENTS	MATIÈRES VOLATILES pour 100	CARBONE pour 100	CENDRES pour 100	EAU pour 100
Vialino	55,40	36,7	7,9	»
Albidimo	49,14	24,5	23,3	3,11
Krasny-Kholmy	56,00	29,7	14,3	»
Novoselebnæ	65,25	22,1	12,7	»

Composition du charbon de Malevka, non loin des rives du Don, en Russie :

Matières volatiles	33,06
Carbone	32,84
Cendres	21,36
Eau	12,74
	100,00

Houille du gisement de Mouaérnia (Russie centrale) :

Matières volatiles	24 à 71 p. 100
Carbone	20 à 27 —
Cendres	5 à 37 —
Eau	10 à 19 —

Houille du gisement de Paveletz (Russie centrale) :

Matières volatiles.	44 » p. 100
Carbone.	45,9 —
Cendres.	9,8 —

Les houilles du Donetz ont été analysées [1]; celle de Mioucki donne :

Carbone.	89,97
Hydrogène.	4,48
Oxygène et azote.	1,88
Cendres.	1,57
Eau.	4,08
	100,00

Nombre de calories : 8695.
Coke pour 100 : 80.
Nature du coke. Très dur.
La houille de Galubarshi (Donetz) renferme :

Carbone.	77,47
Hydrogène.	4,75
Oxygène et azote.	11,48
Cendres.	1,42
Eau.	4,88
	100,00

Nombre de calories : 8201.
Coke pour 100 : 60.
Nature du coke : Bien aggloméré.

MM. Scheurer-Kestner et Meunier-Dolfus font observer à ce sujet que la composition élémentaire d'un combustible ne permet pas de se rendre compte de sa valeur industrielle.

Voici, en effet, quelle est la composition élémentaire comparée des houilles de Miouki et de Ronchamp.

	CARBONE	HYDROGÈNE	OXYGÈNE ET AZOTE	TOTAL
Ronchamp.	88,38	4,42	7,20	100
Miouckі.	91,45	4,50	4,05	100

Or, bien que la composition élémentaire de ces deux houilles soit presque la même, la chaleur de la combustion est de 9,117 calories pour la houille de Ronchamp et seulement de 8,695 calories pour celle de Mioucki; cependant on serait

1. *Revue hebdomadaire de Chimie*, 1874; n° 4.

tenté de croire que c'est la houille de Mioucki qui doit donner le plus de chaleur. Cette anomalie apparente doit être attribuée à la différence que présente la composition immédiate de ces deux combustibles.

Composition d'échantillons provenant des gisements des mines du Donetz (bassin de Kalmiouss-Taretz, branche Nord) :

GISEMENTS	RENDEMENT DE COKE pour 100	CENDRES pour 100	SOUFRE pour 100	POUVOIR CALORIFIQUE
Schterbinovka	61,3 à 7,00	3,25	1,1	7,400
Nikitskoié.	67,2-70,7	0,7-5,6	1,2	7,670
Gélézniansk.	54,8-63,6	5	?.	6,348
Korsounsk.	65,5-76,7	0,8-5,9	0,8-5	7,560
Sophievka, ...	79-86	3,4-7	1,4-2,7	7,855
Volintzovka	69-87	1,2-5,4	0,8	?

La houille de la plupart de ces gisements donne un coke fritté.

Nature de la houille provenant des gisements situés le long de la rivière Kalmiouss (bassin de Donetz) :

GISEMENTS	RENDEMENT DE COKE pour 100	CENDRES pour 100	SOUFRE pour 100
Alexandro-Grigorievsk	63 à 70	1	0,36
Berestovo	67-72	1 à 8	1 à 3,5
Tchébotarevo	79	0,79	1,2
Smolianinovo.	73-83	0,87	?
Gouzovo.	74-83	0,8-3,8	0,2-3

Composition de la houille des gisements de la rivière Kazennoï-Taretz (bassin du Donetz) :

Carbone.	67,22
Hydrogène.	7,19
Oxygène et azote.	8,09
Soufre	6,14
Cendres.	11,36
	100,00

Voici les résultats donnés par l'essai de la houille de Lissitchansk (bassin du Donetz) :

Rendement du coke.	55,5 à 60
Cendres.	5,23
Soufre.	5,4
Pouvoir calorifique	6,78

Cette houille est demi-grasse et donne du coke fritté.

Les houilles du Caucase ont été l'objet de nombreuses analyses ; le charbon feuilleté de la colline Ourgnebi renferme :

Eau hygroscopique	4,45
Matières volatiles	54,85
Carbone.	22,63
Cendres.	21,07
	103,00

Le coke est demi-fritté.

Le charbon des couches moyennes donne :

Eau hygroscopique	3,20
Matières volatiles.	35,50
Carbone.	53,70
Cendres.	7,60
	100,00

Le coke est fritté.

Un charbon de la vallée de Tihnari a fourni à l'analyse :

Eau hygroscopique.	4,91
Matières volatiles	27,95
Carbone.	41,35
Cendres.	25,49
	99,70

Voici la composition chimique des charbons des différentes mines de Dombrowa, ainsi que de la mine Thadée :

NOMS DES MINES	100 PARTIES DE CHARBON CONTIENNENT			LA PARTIE ORGANIQUE DU CHARBON CONTIENT SUR 100 PARTIES			POUVOIR CALORIFIQUE
	Carbone	Substances volatiles	Cendres	Carbone	Hydrogène	Oxygène et azote	
Ksawery	57,74	40,72	4,54	63,65	5,10	31,28	5503
Ksawery*.	61,01	36,60	2,39	67,31	4,50	28,19	5661
Cieszkowsky. . . .	57,32	40,52	2,16	62,49	4,97	32,54	5214
Cieszkowsky*. . .	54,68	43,42	1,90	61,89	4,95	33,16	5197
Nova.	63,60	33,91	2,49	67,43	5,26	27,31	5939
Labendzky	57,55	41,45	1,00	67,92	5,16	26,92	5651
Reden	58,15	38,85	3,00	63,17	5,27	31,56	5493
Sehuman.	50,00	47,00	3,00	»	»	»	»
Thadée*	58,19	38,57	2,64	70,44	5,50	24,06	6400
Thadée.	59,79	36,60	3,63	67,49	5,12	27,39	5948

* Peuvent fournir du coke plus ou moins dur.

M. André S. M'Creath[1] a fait une série d'essais sur les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie.

Voici quelques-uns des résultats qu'il a obtenus :

I. Houillère Mashannon ; comté Clearfield.
II. Mine Snow-Shoe; couche moyenne, comté du centre.
III. Mine Anthony ; comté Jefferson.
IV. Mine Pantall ; comté Jefferson.
V. Mine Brown ; comté Jefferson.
VI. Houillère Redbank, *Cannel ;* comté Armstrong.
VII. Houillère Redbank, *Cannel* inférieur ; comté Armstrong.
VIII. Mine de Fairmount, *Bigbed;* comté Clarion.

	Eau	Matières volatiles	Carbone fixe	Soufre	Cendres	Coke pour 100	Couleur des cendres
I.	0,765	20,090	74,779	0,666	3,700	79,145	Grise avec une teinte rouge.
II	0,650	24,560	70,416	0,964	3,410	74,790	Blanc jaunâtre.
III. . . .	0,950	35,870	58,218	2,302	2,660	63,180	Rouge.
IV. . . .	1,100	31,170	63,544	1,016	3,170	67,730	Brun jaunâtre.
V	1,010	27,790	48,365	3,885	18,950	71,200	Grise.
VI. . .	0,510	30,490	46,194	0,576	22,230	69,000	Grise.
VII. . . .	1,650	39,120	52,716	2,634	3,880	59,230	Brune.
VIII . . .	1,700	38,930	56,096	0,604	2,670	59,370	Blanc jaunâtre.

Acide phosphorique dans la houille et dans les cendres :

	Houille p. 100.	Cendres p. 100.
Mine Eureka, à Houtzdale	0,01	0,34
Mine Morrisdalle, couche supérieure.	0,05	1,52
Houillère Logan.	0,24	3,10

Diverses remarques ont été faites par M. M'Creath sur les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie. D'abord ces houilles ont le grand avantage de ne contenir qu'une très faible proportion d'eau, car le professeur White a obtenu 8,57 pour les houilles de l'Iowa, le professeur Wormby 4,65 pour celles de l'Ohio, M. R. Chauvenet 3,40 pour celles du Missouri, tandis que pour celles de Pennsylvanie, la moyenne est seulement de 1,03 p. 100.

La proportion des *matières volatiles* et combustibles a varié de 19 à 41 p. 100 dans les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie; quant au *carbone fixé,* il était en moyenne, de 68,96 p. 100.

La proportion des cendres est restée comprise entre 1,52 et 19,17 p. 100. Parmi

1. *Second geological Survey of Pennsylvanie,* 1874-1875. — *Report of progress in the laboratory of the Survey of Harrisburg.*

les cendres, les meilleures, au point de vue de l'emploi de la houille comme combustible, sont les plus infusibles, c'est-à-dire celles qui ont une couleur blanchâtre et renferment peu de fer, de chaux et de magnésie.

Quant au soufre, il a varié de 0,4 à 8,5 p. 100 dans les houilles bitumineuses de Pennsylvanie. Le professeur Wormby a montré, comme on sait, que le soufre ne se trouve pas seulement dans les combustibles à l'état de pyrite de fer et de gypse, mais aussi à l'état de composé organique. Pour les houilles bitumineuses de la Pennsylvanie, M. M'Creath a constaté que le soufre est généralement en grand excès sur la quantité qui est nécessaire pour former de la pyrite de fer. A la mine Galusha, l'excès de soufre s'est même élevé à 3,53 p. 100.

Lorsqu'on transforme de la houille en coke, la proportion du soufre qui disparaît avec les matières volatiles paraît varier beaucoup, ainsi que l'avait constaté déjà M. Wormby.

Dans les houilles analysées par M. M'Creath, la perte en soufre n'a jamais dépassé les deux tiers de celui qu'elles contenaient originairement.

De plus, il semble résulter de nombreuses expériences faites sur les houilles bitumineuses de Pennsylvanie que, quand le soufre est à la fois à l'état de pyrite et sous un autre état, il disparaît toujours en plus grande proportion que les matières volatiles, que quand il est seulement à l'état de pyrite. Toujours est-il que la chaux ou le carbonate de chaux empêchent le soufre de s'échapper avec les matières volatiles dans la transformation de la houille en coke, et ce fait est très important pour les fabriques de gaz d'éclairage.

Un grand nombre d'essais ont été faits par M. Chauvenet[1] sur des charbons appartenant au terrain houiller du Missouri. Voici quelques-uns de ses résultats :

		I.	II.	III.
Densités		15,29	12,25	»
Carbone	fixe	33,05	44,01	54,17
	combiné	24,96	30,75	23,45
Hydrogène	de l'eau	0,37	0,75	0,14
	des matières volatiles	4,99	5,58	5,31
Azote		»	»	1,84
Eau		3,30	6,77	1,31
Cendres		26,80	4,12	7,91
		93,47	91,98	94,13

I. Charbon de Tapscott Shale, désigné dans le pays sous le nom de *Cannel* et donnant une grande quantité de cendres.

II. Charbon de Zimmermann, Johnson County.

III. Charbon de Pittsburgh employé dans les usines à gaz de Saint-Louis.

Parmi les charbons les plus remarquables par leur faible teneur en cendres, M. Chauvenet mentionne ceux de Warrensburg et aussi ceux de Linn (Chariton County). Dans ce dernier il y a seulement 1.63 p. 100 de cendres.

1. Pumpelly, *Geological Survey of Missouri*, 1873, p. 37.

Quelques charbons de Ray County se distinguent par une grande proportion d'eau; par exemple celui de la mine d'Hayson en contient plus de 12 p. 100.

Le professeur Womley[1] a analysé la cendre de la houille très pure de Jacob Sells (Ohio). Elle a donné :

Silice	44,60
Alumine	42,10
Sesquioxyde de fer	7,40
Chaux	3,61
Potasse et soude	1,82
Acide phosphorique	0,29
Acide sulfurique	0,58
Soufre	0,03
	100,71

Il a donné[2] des analyses détaillées de cendres fournies par d'autres houilles de l'Ohio :

	HOUILLE DE NEW-STRAITSVILLE		HOUILLE DE PIGEON-CREEK, JACKSON	
	Pour 100 de cendres	Pour 100 de houille	Pour 100 de cendres	Pour 100 de houille
Silice	57,85	3,026	37,40	0,2880
Sesquioxyde de fer	2,09	0,108	9,75	0,0748
Alumine	35,30	1,819	40,77	0,3139
Chaux	1,20	0,062	6,27	0,0483
Magnésie	0,68	0,035	1,60	0,0123
Potasse et soude	1,08	0,056	1,29	0,0099
Acide phosphorique	0,13	0,007	0,51	0,0039
Acide sulfurique	0,24	0,013	1,99	0,0153
Soufre	0,41	0,025	0,08	0,0006
Chlore	trace	trace	»	»
Totaux	99,88	5,148	99,64	0,7670

Ces analyses offrent cet intérêt de nous faire connaître dans une certaine mesure les matières minérales assimilées par les plantes à l'époque houillère, matières qui toutefois ont été plus ou moins dissoutes et mélangées avec celles qui, comme l'argile, ont été déposées simultanément.

Elles offrent aussi de l'intérêt au point de vue agricole en montrant la présence dans les cendres de houille de l'acide phosphorique. On sait d'ailleurs que les cendres dont il s'agit divisent les terres argileuses auxquelles on les mélange, et fixent les engrais solubles de sorte qu'on ne saurait trop en reconnaître l'emploi comme amendement.

1. *Geological Survey of Ohio*, 1870, p. 130.
2 *Id.*, 1870, p. 428.

On s'est souvent demandé si la composition chimique et les qualités industrielles des houilles étaient liées à la nature botanique des végétaux qui les ont constituées.

Dès longtemps on avait remarqué l'abondance des sigillaires dans certaines couches, qui fournissaient des charbons gras pour la forge, et celle des Fougères dans d'autres couches, dont les charbons à longue flamme convenaient pour la fabrication du gaz. Aussi, plusieurs géologues avaient-ils cru devoir attribuer aux essences forestières une influence prépondérante sur les qualités des houilles. D'autres ont pensé, au contraire, que ces qualités étaient à peu près indépendantes de la nature des plantes fossiles, mais qu'elles résultaient presque exclusivement des circonstances où s'était opérée leur transformation en charbon minéral[1].

Les circonstances extérieures ont assurément joué le rôle principal. Ont-elles cependant effacé tout caractère distinct entre les différentes sortes de plantes qui ont formé la houille?

C'est une question qui n'avait pas été jusqu'ici, que je sache, abordée par l'expérience. M. Carnot[2] s'est efforcé de la résoudre, du moins sur un point spécial, en mettant à profit la découverte, au milieu de la grande couche de Commentry, de plantes transformées en houille, mais encore parfaitement reconnaissables à la loupe ou au microscope d'après les détails de leur structure.

Entremêlés dans un même banc de houille, ces plantes se sont certainement trouvées, depuis l'origine, dans des conditions toujours identiques, et elles ont subi toutes les mêmes circonstances extérieures. Si donc, on peut constater entre elles des différences de composition ou de qualité, on sera fondé à les attribuer à la diversité des espèces végétales. Quant aux anomalies accidentelles, on parviendra à les faire disparaître en opérant sur plusieurs individus de chaque espèce et prenant les moyennes des résultats obtenus.

Grâce à l'obligeance de M. Fayol, qui lui a envoyé une collection d'échantillons, et à celle de M. B. Renault, qui en a fait la détermination botanique, l'auteur s'est trouvé en possession de dix-huit échantillons appartenant aux espèces *Calamodendron, Cordaïtes, Lepidodendron, Psaronius, Ptychopteris* et *Megaphyton*.

Ces échantillons, bien triés, ont été soumis, d'une part, à l'analyse élémentaire, de l'autre, à la distillation en vase clos.

L'analyse élémentaire a donné les moyennes suivantes, déduction faite des cendres et de l'humidité des échantillons.

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Azote.
Calamodendron (5 échantillons).	82,95	4,78	11,89	0,48
Cordaïte (4 échantillons)	82,84	4,88	11,84	0,44
Lépidodendron (5 échantillons). .	83,28	4,88	11,45	0,39
Psaronius (4 échantillons). . . .	81,64	4,80	13,12	0,44
Ptychoptéris (1 échantillon) . . .	80,62	4,85	14,53 (oxygène et azote)	
Mégaphyton (1 échantillon) . . .	83,37	4,40	12,23 (oxygène et azote)	

1. M. Grand'Eury, *Flore carbonifère*, p. 462 (1877), et *Ann. des Mines*, 8e série, t. I, p. 209 (1882).

2. *Comptes rendus*, t. XCIX, 4 août 1884, p. 253.

Il résulte de ce tableau que la composition élémentaire des différents végétaux est à très peu près uniforme ; elle diffère d'ailleurs assez peu de celle de la houille massive de la grande couche de Commentry, telle qu'elle a été déterminée par V. Regnault dans son mémorable travail sur les combustibles minéraux (A) et telle qu'elle a été récemment obtenue par M. Carnot (B) :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.
(A)	82,92	5,30	11,78
(B)	83,21	5,57	11,22

On remarquera cependant que cette houille renferme une proportion plus grande d'hydrogène, ce que l'on peut attribuer à la présence de feuilles et de débris de végétaux de toutes sortes dans la masse de la houille, tandis que les échantillons analysés plus haut se composaient uniquement de fragments de bois, d'écorces ou de racines.

Mais si l'analyse élémentaire ne signale presque aucune différence entre les diverses plantes houillères, il n'en est pas de même des essais de distillation. En opérant dans des conditions toutes semblables sur chacun des 18 échantillons, puis faisant déduction de l'humidité et des cendres, j'ai trouvé pour chaque espèce la moyenne suivante :

	Matières volatiles.	Résidu fixe.	Aspect du coke.
Calamodendron.	35,3	64,7	Bien aggloméré.
Cordaïtes.	42,2	57,8	Assez boursouflé.
Lépidodendron.	3,47	65,3	Bien aggloméré.
Psaronius.	39,5	60,5	Un peu boursouflé.
Ptychoptéris.	39,4	60,6	Id.
Mégaphyton.	35,5	64,5	Bien aggloméré.

Une opération toute semblable a donné :

Houille de la grande couche. .	40,6	59,4.	Peu boursouflé.

Ainsi, bien que les proportions des éléments soient à peu près les mêmes, on observe d'assez grands écarts dans les quantités relatives de substances volatiles et de résidu fixe. Il convient, sans doute, d'attribuer cette différence au mode de combinaison varié des éléments, qui ne se révèle pas dans l'analyse élémentaire, mais qui peut se manifester, au contraire, par les procédés d'analyse immédiate ou même par le seul effet de la chaleur.

Au reste, une observation analogue peut être faite sur les bois de l'époque actuelle, auxquels on a toujours trouvé une composition élémentaire presque identique, malgré leurs qualités si diverses.

On peut se borner à citer, comme exemple, les nombres donnés par M. Gottlieb (de Copenhague) pour deux variétés de bois en quelque sorte opposées, le chêne et le pin.

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Azote.	Cendres.
Chêne. . .	50,16	6,02	43,36	0,09	0,37
Pin. . . .	50,31	6,20	43,08	0,04	0,37

Les plantes conservées à l'état de houille semblent avoir de même des propriétés différentes, avec une composition chimique élémentaire à peu près uniforme.

« En résumé, dit l'auteur, les expériences précédentes montrent que l'âge de la houille et les circonstances diverses qui ont présidé à sa formation n'ont pas seuls influé sur ses propriétés; lorsque toutes ces circonstances ont été absolument identiques, les différentes espèces forestières ont donné naissance à des houilles de qualités sensiblement différentes. »

Classification des houilles. — M. Grüner a fait observer que la classification des houilles, basée sur l'analyse élémentaire, n'indique pas d'une manière précise le pouvoir calorifique ou la valeur réelle de la houille. Remarquant de plus que les chaleurs de combustion d'un même corps varient avec sa densité et aussi avec le degré de condensation des combustibles comparés, M. Grüner a entrepris des expériences dont les résultats sont indiqués dans le tableau suivant, et il en a déduit une nouvelle classification des houilles.

NOMS des cinq types de houille	COMPOSITION ÉLÉMENTAIRE			RAPPORT de l'oxygène à l'hydrogène	PROPORTION de charbon fourni par la distillation	NATURE ET ASPECT de charbon obtenu
	Carbone	Hydrogène.	Oxygène			
Houilles sèches à longue flamme.	75 à 80	5,5 à 4,5	19,5 à 15	4 à 3	0,50 à 0,60	Pulvérulent ou tout au plus fritté.
Houilles grasses à longue flamme ou charbon à gaz.	80 à 85	5,8 à 5	14,2 à 10	3 à 2	0,60 à 0,68	Fondu mais très fendillé.
Houilles grasses proprement dites ou charbon de forge.	84 à 89	5 à 5,5	11 à 5,5	2 à 1	0,68 à 0,74	Fondu moyennement compact.
Houilles grasses à courte flamme ou charbon à coke.	84 à 91	5,5 à 4,5	6,5 à 5,5	1	0,74 à 0,82	Fondu très compact peu fendillé.
Houilles maigres ou anthraciteuses.	90 à 93	4,5 à 4	5,5 à 3	=1	0,82 à 0,90	Fritté ou pulvérulent.

§ III. COMPOSITION IMMÉDIATE ET COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DE LA HOUILLE.

Constitution de la houille. — En traitant les houilles grasses par l'éther, la benzine, le sulfure de carbone (et surtout par le chloroforme), plusieurs chimistes ont réussi à leur enlever de très petites quantités de matières bitumineuses. M. Guignet a obtenu[1] de meilleurs résultats avec le phénol (acide phénique).

La houille, réduite en poudre grossière, est complètement séchée à 100 degrés, puis passée au tamis impalpable. Elle est alors chauffée à 100 degrés avec du

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1879 n° 11 (17 mars 1879), t. LXXXVIII, p. 590.

phénol parfaitement exempt d'eau. Le liquide se colore fortement en brun; on filtre à chaud, sur un double filtre de papier bien sec. Par le refroidissement, une partie de la matière brune se dépose; mais, pour la séparer entièrement, il suffit d'ajouter de l'alcool ordinaire à la solution phénique : d'abondants flocons bruns se déposent et la liqueur se décolore complètement. En lavant la matière brune sur un petit filtre avec de l'alcool, on enlève toute trace d'acide phénique.

La partie soluble dans le phénol représente presque 2 pour 100 du poids de la houille; mais j'ai pu dépasser de beaucoup cette limite, en amenant la matière première à un état de division extrême.

La houille, passée au tamis impalpable, contient toujours des fragments anguleux, presque filiformes. Pour diviser cette poudre, toujours grossière et rude au toucher, M. Guignet la fait broyer à l'eau sur une glace, à l'aide d'une *molette* comme on fait pour les couleurs les plus dures. Au bout de quelques heures la houille est devenue d'un brun très clair; elle est douce au toucher. Dans cet état elle peut céder au phénol jusqu'à 4 pour 100 de matière brune.

L'acide nitrique attaque difficilement cette matière, en donnant un produit jaune qui a paru intéressant à l'auteur : ce qui l'a conduit à traiter directement par l'acide nitrique ordinaire la houille finement pulvérisée. Le mélange s'échauffe assez fortement et dégage des vapeurs rutilantes. Après avoir distillé au bain-marie et cohobé plusieurs fois, M. Guignet a filtré, puis évaporé de manière à chasser l'excès d'acide : le résidu contenait de l'oxyde de fer et de l'acide sulfurique (provenant des pyrites que toutes les houilles contiennent en petite quantité), plus de l'acide oxalique et de la *trinitrorésorcine* (acide oxypicrique), reconnaissable à tous ses caractères.

Toutes ces matières se séparent aisément en reprenant le résidu par l'eau et faisant bouillir avec du carbonate de baryte, qui précipite l'oxyde de fer et les acides sulfurique et oxalique, tandis que l'oxypicrate de baryte reste en dissolution. En précipitant la baryte par l'acide sulfurique, l'expérimentateur a obtenu l'acide oxypicrique, qu'il a fait cristalliser.

La houille qui a subi l'action de l'acide nitrique et qui est restée sur le filtre a été soumise à un lavage complet. Elle renferme des produits nitrés, plus ou moins analogues aux celluloses nitrées, insolubles dans les dissolvants; séchée complètement, elle se décompose par la chaleur, avec explosion ou dégagement de vapeurs rousses. De plus, une partie des matières humiques est devenue soluble dans les alcalis et même dans l'ammoniaque, qui se colore fortement en brun au contact du résidu de l'action de l'acide nitrique.

Pour M. Guignet, il semble probable que la houille, formée de débris végétaux, retient quelques matières résineuses ou céreuses, à peine altérées, difficilement attaquables par les dissolvants, mais capables de donner de l'acide oxypicrique par l'action de l'acide nitrique. C'est ainsi que l'ambre jaune ou succin s'est conservé jusqu'à nous, longtemps après la destruction des végétaux qui l'ont sécrété.

La présence de la trinitrorésorcine dans les produits d'oxydation a conduit l'auteur à chercher, dans la houille, la résorcine ou quelque produit voisin. La houille, finement broyée, a été mélangée avec de la soude caustique à 40 degrés B; le mélange, évaporé à sec à 110 degrés dans un vase de fonte, a été distillé dans une cornue de fer chauffée à 400 degrés, dans un bain de plomb fondu. On obtient

ainsi un liquide jaunâtre, transparent, qui ne ressemble en rien au goudron de houille; il y a trouvé de l'ammoniaque, de l'aniline, mais point de résorcine.

Le résidu de la distillation se dissout en très grande partie dans l'eau, la liqueur est d'un brun très foncé, saturée par un acide, elle laisse déposer une grande quantité de matière brune, qui offre tous les caractères des produits mal définis confondus sous les noms d'*ulmine*, d'acide humique, etc. C'est sans doute la partie d'origine *cellulosique* de la houille qui a été attaquée par la soude à haute température, car, en traitant la houille à froid par l'acide sulfurique très concentré ou par l'acide azotique fumant, le liquide se colore en brun et laisse précipiter, par addition d'eau et saturation, des produits semblables à ceux que donne la soude. Le mélange d'acide sulfurique et d'acide nitrique déjà proposé par M. Fremy pour différencier les houilles, les anthracites et les lignites, attaque aussi la houille; mais ce mélange donne des produits nitrés mêlés à des matières humiques, plus difficiles à séparer que les produits résultant de l'action de l'acide nitrique seul.

Dès 1871, M. K. Haushofer[1] s'est occupé de l'examen microscopique des combustibles réduits en tranches très minces et transparentes. Les véritables houilles compactes ne lui avaient paru présenter ni vaisseaux ni cellules non plus que des débris qu'on puisse avec certitude rapporter à des plantes. « Quoiqu'on observe, disait-il, dans le cannel-coal et dans le pechkohle du terrain houiller de Zwickau, des cavités arrondies ou irrégulières, elles peuvent être aussi bien attribuées à des concrétions. » Dans le Pechkohle provenant du terrain de mollasse de la Bavière méridionale, les traces de plantes semblaient également incertaines. Quant aux lignites, tantôt ils ont montré la structure et les fibres de bois; tantôt, comme ceux de Teplitz, ils offrent de l'analogie avec la tourbe compacte, et l'auteur en concluait qu'ils s'étaient comme elle formés dans des marais tourbeux.

Les observations de M. Gumbel[2] montrent que la houille est formée d'éléments combustibles qui conservent encore, pour une bonne partie, la structure des plantes qui leur ont donné naissance; la houille est constituée en effet, en laissant de côté les matières terreuses mélangées, par des débris de plantes renfermant, entre eux et dans leurs interstices propres, une substance humique ou ulmique qui, après avoir été sans doute en dissolution à l'origine, est à peu près devenue insoluble et donne à toute la masse une apparence amorphe. On doit admettre, conformément aux vues de M. Fremy, que certaines parties plus facilement décomposables des végétaux dont l'accumulation devait donner naissance à la couche de charbon, se sont complètement transformées en matière ulmique en perdant leur forme et leur texture ; ces matières ulmiques ont empâté et pénétré les parties plus solides qui n'étaient pas encore décomposées ou dont le squelette plus fortement minéralisé offrait une résistance plus grande, et elles se sont peu à peu solidifiées par suite de modifications chimiques encore peu étudiées, peut-être par suite d'une oxydation graduelle. La houille est ainsi formée de substances diverses, quoique très analogues d'aspect, dont les unes correspondent aux débris des tissus végétaux et autres, qui jouent le rôle de ciment, aux produits de la décomposition du reste

1. *Neues Jahresberich*, 1871, p. 597.

2. *Sitzungsberichte der bayern Akademie der Wissenschaften*, 1883, t. I, p. 111 à 116, pl. I à III (traduit par M. Zeiller).

de la masse végétale, matières ulmiques ou humiques, de composition certainement variable; la résistance plus ou moins grande que les divers éléments des houilles offrent à l'action des agents chimiques indique, en effet, l'existence de composés carbonés de différentes sortes.

La constitution des charbons mats est beaucoup plus variable que celle des charbons brillants ; en général ils sont caractérisés par la prédominance de tissus prosenchymateux paraissant provenir principalement d'organes foliacés, par l'extrême abondance des membranes épidermiques et par la fréquence des spores avec des fibres de fusain éparses çà et là. Les particules argileuses, mélangées de petits grains de quartz, semblent aussi entrer pour une part importante dans leur composition.

Dans la houille d'Odenbach, les lits mats sont remplis de débris de feuilles et de cellules fibreuses entrelacées ; dans les lits brillants, on reconnaît une grande quantité de fragments ligneux très divisés. Il en est de même pour les houilles de Breitenbach-Steinbach, du moins pour la couche située à la limite, entre le terrain houiller et les formations plus récentes. Les parties brillantes sont formées de débris végétaux très divisés, avec des cellules fibreuses et des fragments de fusain ; dans les parties mates dominent les tissus prosenchymateux avec des spores et des flocons d'argile.

On peut prendre comme type de *cannel-coal*, celui de Wigan dans le Lancashire, ou celui de Cleehill dans le même comté.

C'est uu charbon à cassure mate rappelant celle de l'argile fine, tout à fait homogène, et présentant à peine à l'œil nu quelques traces de débris végétaux. Examiné en coupes perpendiculaires à la stratification, il paraît formé de lits excessivement minces, renfermant une quantité extraordinaire de petits grains jaunes ou brun clair, ronds ou elliptiques, à noyau central plus foncé, qui à la lumière polarisée se montrent faiblement biréfringents.

En traitant le cannel-coal par les réactifs oxydants, puis par l'alcool et enfin par l'ammoniaque, on y découvre un uombre considérable de corps arrondis, qui paraissent être des spores ; on y reconnaît également une masse de grains et de flocons irréguliers qui ne peuvent guère être regardés que comme des débris de tissus végétaux excessivement divisés, avec des cellules parenchymateuses et prosenchymateuses bien conservées ; mais ce qu'il y a de plus saillant ce sont des petites touffes de filaments ramifiés appartenant sans doute à des algues (fig. 35),



Fig. 35. — Touffes en forme d'algue, extraites du cannel-coal de Wigan, Angleterre (D'après M. Gumbel.)

en tous cas d'origine certainement végétale, qui se montrent beaucoup plus abondantes ici que dans aucune autre variété de houille et semblent pouvoir être considérée comme caractéristiques du cannel-coal.

Dans les résidus qui ne représentent que 1,25 pour 100 du poids primitif, M. Gumbel n'a reconnu que quelques fibres végétales, des lamelles de fer spathtique et de petits grains de quartz.

Malgré sa forte teneur en résidu qui atteint 20 à 30 pour 100, le boghead se rattache intimement au cannel-coal par tous ses caractères. On y rencontre sur des coupes minces les mêmes grains jaunes ou bruns, et après traitement chimique, les mêmes éléments organisés, spores et houppes d'algues en grande abondance. Seulement les matières terreuses, argile et grains de quartz, entrent dans la composition de la masse en proportion beaucoup plus considérable. Le boghead peut être considéré comme formant un passage entre le cannel-coal et les schistes bitumineux.

La houille à gaz dévonienne de Mourajewna, dans le gouvernement de Toula, présente une certaine analogie d'aspect avec le boghead. Elle se distingue cependant parce qu'elle contient une assez grande quantité de débris de végétaux bien conservés dont quelques-uns sont trausformés en houille brillante. Ils sont habituellement étalés par lits, parallèlement à la stratification ; mais parfois aussi ils la coupent obliquement ou normalement et ils se présenteut en somme dans les mêmes conditions de gisement que dans les schistes houillers. On doit en conclure que les éléments de cette couche de houille ont été accumulés par flottage et sédimentation.

La texture de la masse charbonneuse, examinée en lames minces, est exactement la même que celle du boghead ; on y observe également des corps semblables à des spores du fusain, des débris de feuilles et une quantité énorme de houppes d'algues (fig. 36) appartenant à deux formes distinctes, les unes de petite taille comme celles du boghead et du cannel-coal, les autres plus grises, à filaments ramifiés et articulés, offrant l'apparence de verres de montre empilés les uns sur les autres.



Fig. 36. — Touffes en forme d'algue extraites de la houille à gaz dévonienne de Tschulkowa près de Tula, Russie méridionale. (D'après M. Gumbel.)

Dans les parties brillantes de la couche Gneisenau, dans le bassin de Sarrebruck, M. Gumbel a trouvé comme éléments dominants de larges cellules fibreuses et des spores, avec quelques fragments d'épidermes, de petites touffes de filaments ramifiés ressemblant à des algues, et des tissus parenchymateux à larges mailles. Les parties mates de la même couche paraissent formées presque exclusivement de cellules fibreuses rappelant les tissus des feuilles de gramiuées et de tissus parenchymateux, avec quelques spores et un petit nombre de vaisseaux scalariformes.

D'après M. Gumbel, une houille de la Nouvelle-Écosse renferme dans ses parties brillantes beaucoup de tissus fibreux à trachéides ponctuées, avec des membranes

épidermiques, tandis que dans les parties mates on distingue des cellules parenchymateuses, avec des fragments d'épidermes, des spores et de petites houppes semblables à des algues.

Une houille brillante de la Russie méridionale a montré à M. Gumbel, en proportion presque égale, des tissus parenchymateux et du tissu prosenchymateux présentant des places nettement ponctuées avec un assez grand nombre de débris d'épidermes.

Le fusain se rencontre dans toutes les variétés de charbon, et doit être considéré comme un des éléments essentiels de la houille. Car, outre les fragments visibles à l'œil qu'on observe tantôt couvrant certains lits sur une grande étendue, tantôt isolés et épars dans la masse de la houille compacte, l'examen des variétés brillantes ou mates en fait découvrir la présence très fréquente sous forme de fines aiguilles ou de fibres très divisées.

Le fusain ne se comporte pas toujours exactement de la même manière vis-à-vis des réactifs oxydants, ni même au point de vue de l'incinération. Certains fragments en effet résistent énergiquement à l'action prolongée de l'acide azotique concentré et du chlorate solide ; d'autres se divisent en fibres isolées ; d'autres encore sont partiellement attaqués et l'on y distingue ensuite au microscope de fines fibres transparentes à côté d'autres restées tout à fait opaques. De même si la calcination n'est pas très longue, certaines parties demeurent intactes les unes à côté des autres ; par une incinération incomplète, on obtient un léger squelette siliceux insoluble dans l'eau et dans l'acide chlorhydrique.

L'examen des fibres isolées du fusain ne permet d'y reconnaître aucun aplatissement, les cellules et les fibres présentant dans tous les sens des dimensions égales.

La constitution du fusain, sa division en petits fragments irréguliers, la manière dont il se rencontre dans les couches de houille, indiquent que la substance ligneuse était déjà transformée et arrivée à un état en quelque sorte définitif quand elle a été prise dans la masse qui devait former la houille ; il n'est pas rare d'en trouver des noyaux empâtés dans la houille brillante et non pénétrés par elle. On est ainsi conduit, comme l'a admis M. Grand'Eury, à penser que le fusain doit son origine à un mode particulier de décomposition du bois à l'air libre, sous l'influence de périodes alternativement humides et chaudes, qui a eu pour résultat une sorte de carbonisation. Le bois est tombé ainsi en petits fragments comme il arrive encore aujourd'hui lors de la pourriture du bois des troncs d'arbres creux, et ces fragments ont été entraînés avec les autres débris végétaux qui devaient constituer les couches de houille.

Pour faire l'étude des plantes fossiles transformées en houille, et observer leur structure anatomique, M. Renault[1] a choisi les échantillons isolés les uns des autres dans les couches d'argile ou dans les bancs de grès houiller, et n'ayant aucune relation avec les couches de houille voisines ; certains fragments ont été reconnus entiers sur une longueur de plus de 10 mètres ; on ne peut donc supposer un instant que ces restes fragiles étaient déjà houillifiés lors de leur dépôt, contemporain de celui des sédiments qui les entourent.

La houillification des diverses matières organiques végétales (bois, écorce, etc.),

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCIX, 28 juillet 1884, p. 200.

préalablement soumises à une longue macération et amenées à une composition chimique assez peu différente, s'est opérée plus ou moins lentement au sein même des bancs d'argile et de grès où ils gisent maintenant.

Le microscope ne laisse apercevoir aucune cavité, ni dans les vaisseaux ni dans les cellules; leurs parois plus ou moins rétractées étant maintenant en contact, il en résulte que la matière organique des parois a dû, pour les plantes isolées en question, intervenir seule dans la production de la houille. Le protoplasma des cellules avec ses phosphates de nature diverse, les aliments de réserve, les gommes, les résines, etc., enlevés par la macération, ont également pu concourir à la formation des couches de houille, mais de nature et d'aspect tout différents (cannel-coal, pite-coal, certaines anthracites, etc.), tenant en suspension dans la masse les débris végétaux les plus divers, tels que radicelles, fragments de feuilles variées reconnaissables, micro et macro-spores, grains de pollen, etc., amenés pendant que ces couches étaient en voie de formation.

Les fragments plus ou moins volumineux de plantes qui se sont houillifiées sur place se reconnaissent même lorsqu'ils sont très déformés par l'aspect des cassures et par la régularité de la surface.

Mais, en même temps que ces fragments de plantes, transformés en houille là où on les trouve, on en rencontre souvent d'autres dont l'apparence est toute différente et qui ne sont pas contemporains; en effet, quand ils sont dégagés avec précaution de la gangue de grès qui les moule exactement, tantôt ils rappellent un fragment de houille fraîchement cassé, tantôt ils se présentent sous la forme de *galets* à angles complètement émoussés ou de cailloux roulés; ils ne paraissent pas avoir subi de déformation résultant de la pression des couches de grès environnantes, par conséquent, tout porte à croire qu'ils ont été arrachés à des bancs houillers préexistants et possédant déjà leur consistance, en même temps que les graviers et les sables dans lesquels ils sont enclavés.

Il était intéressant de rechercher l'âge auquel on devait rapporter ces fragments, évidemment plus anciens que ceux dont il a été question. M. Fayol a recueilli toute une série de ces cailloux de houille encore engagés dans leur gangue de grès et provenant des couches houillères de Commentry.

Par quelques-unes de leurs propriétés physiques, ils diffèrent, suivant M. Renault, des fragments qui se sont houillifiés sur place : ils sont moins compacts et poreux, une mince couche d'eau déposée à leur surface est rapidement absorbée, leur cassure est moins brillante et plus mate; ils sont rayés par eux et se laissent couper bien plus facilement par le rasoir.

Sur une cassure fraîche on reconnaît à la loupe ou au microscope qu'ils sont formés, les uns de houille ordinaire, c'est-à-dire composée de lames d'épaisseur variable, brillantes ou ternes, avec ou sans traces d'organisation; les autres, de bois divers, à structure conservée.

Réduits en lames minces transparentes, ces derniers fragments ont offert l'organisation des bois d'*Arthropitus*, de *Cordaïtes*, de *Calamodendron* et de pétioles d'*Aulocopteris*, c'est-à-dire des plantes ligneuses et arborescentes que l'on rencontre le plus ordinairement dans le terrain houiller de Commentry à l'état d'empreinte ou de charbon.

Dans un certain nombre d'échantillons, la diminution de volume des trachéides

est moins considérable que celle observée pour les mêmes organes des genres correspondants, mais houillifiés sur place. Il semble donc que, lors de leur dépôt, les cailloux de houille n'étaient pas encore transformés complètement et que, depuis, la houillification interrompue n'ait pas continué.

Les genres de plantes qu'on vient de mentionner sont, comme on le sait, répandus surtout dans le terrain houiller supérieur ; le genre *Calamodendron*, en particulier, rare dans le terrain houiller moyen, ne devient commun que dans le terrain houiller supérieur, et est très répandu à Commentry.

« Les conclusions à tirer de ce qui précède sont donc :

« 1° Que, pendant la durée de la formation du terrain houiller de Commentry, des érosions fréquentes se sont produites dans les couches de grès, d'argile et de houille plus anciennement formées ;

« 2° Que ces couches plus anciennes n'appartiennent pas à un terrain houiller beaucoup plus âgé, comme on aurait pu le supposer ;

« 3° Que la houille trouvée sous forme de galets est moins avancée pour ainsi dire, et offre quelques propriétés différentes de celle provenant de plantes houillifiées sur place et plus récente ;

« 4° Enfin que le temps nécessaire à la transformation de la matière organique végétale en houille, quoique très long, ne paraît pas cependant être d'une durée excessive, puisqu'un même bassin houiller, d'une étendue relativement restreinte, possédait déjà de la houille alors qu'il continuait toujours à s'accroître. »

M. Renault a publié[1] un certain nombre de figures faites d'après des préparations de houilles variées. Ces préparations ont été obtenues par l'amincissement suffisant des fragments soumis à l'étude, sans le secours d'aucun réactif chimique, afin d'éviter le reproche de faire apparaître ce que la houille ne contient pas. Cette méthode lente et délicate peut ne pas déceler tout ce que la substance charbonneuse renferme d'organisé, mais, par contre, on est absolument sûr de la préexistence de tout ce qui ressemble à des organes ou fragments d'organes que l'on y distingue à l'aide du microscope.

Nos recherches ont porté, comme nous l'avons dit précédemment, sur divers Cannel-coal, Anthracite, Boghead et sur des plantes houillifères isolées soit dans des galets de houille, soit dans les schistes et les grès.

Les figures 37 et 38 (grossissement $^{200}/_{1}$) représentent deux coupes faites dans deux plans rectangulaires de fragments de cannel-coal du Lancashire ; elles rappellent, dans une certaine mesure, les figures 3 et 5, pl. 11, de Witham (*Internel structure of fossil vegetables*), faites d'après des échantillons de cannel-coal provenant également de Lancashire, mais avec plus faible grossissement. Il y a là un fait intéressant à signaler dans cette coïncidence, c'est que cette structure difficile à expliquer dans ses détails n'est pas accidentelle, mais la conséquence de la nature des matériaux qui ont servi à produire le cannel-coal de cette région. Au milieu d'une masse de débris noirâtres *a*, organiques et inorganiques, plongés dans une gangue amorphe et transparente, on trouve quelques fragments reconnaissables, tels que des macrospores de formes diverses et à parois épaisses *b*, des morceaux de pétioles aplatis *c*, des grains de pollen *d*, des débris d'écorce, etc. Dans la figure 2,

1. Le *Génie civil* du 27 décembre 1884.

Fig. 57. — Cannel-coal de Lancashire (coupe longitudinale), gossissement de 200. (Daprès M. Renault.)

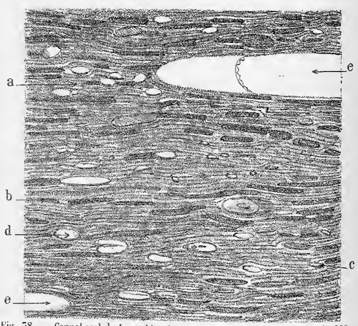


Fig. 58. — Cannel-coal de Lancashire (coupe transversale), grossissement de 200. (D'après M. Renault.)

tous ces divers restes sont coupés ou obliquement ou longitudinalement et peu reconnaissables ; il n'est pas rare de rencontrer des espèces de lacunes *e* remplies de matière plus claire d'aspect résinoïde, sans trace d'organisation.

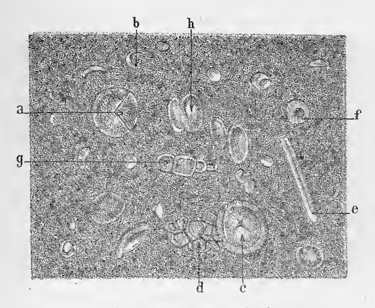


Fig. 39. — Cannel-coal de Commentry, grossissement de 200. (D'après M. Renault.)

Sur la figure 39, qui représente une coupe faite dans un Cannel-coal de Commentry, le nombre des organes reconnaissables au milieu de la masse de débris que l'on ne peut déterminer est bien plus grand. Ainsi, en *a* on voit une macrospore, en *b* un fragment d'enveloppe de microspore, en *c* une autre macrospore possédant suivant son équateur une sorte de bourrelet à l'état silicifié (il n'a pas encore été trouvé de macrospore analogue) ; en *d* on reconnaît une coupe transversale d'un faisceau vasculaire, en *e* une coupe longitudinale d'une radicelle parcourue en son centre par un faisceau vasculaire extrêmement grêle ; en *f* se trouve une coupe transversale d'une autre radicelle, en *g* une portion presque complète d'un faisceau vasculaire bicentre de racine ; en *h*, on voit de volumineux grains de pollen, rappelant ceux que l'on rencontre dans les graines silicifiées de Saint-Étienne.

Le Cannel-coal se montre donc formé d'une sorte de gangue brun foncé d'aspect résinoïde, quand on la voit sous une faible épaisseur, tenant en suspension, et disposés par couches, des débris indéterminables noirs organiques et inorganiques au milieu desquels, suivant les localités et les fragments étudiés, on trouve un nombre plus ou moins considérable d'organes végétaux faciles à reconnaître.

Le Boghead apparaît d'une tout autre façon (fig. 40) (gros $^{300}/_{1}$) ; facile à réduire en plaque mince transparente, il se montre formé d'une multitude de très petites lentilles, différentes de forme et de grandeur, beaucoup plus transparentes que les bandes qui les séparent. Dans l'intérieur des lentilles, on distingue des linéaments

très grêles rayonnant de quelques centres, se dichotomisant plusieurs fois de suite; les ramifications viennent se perdre à la périphérie au milieu de fines granulations qui ressemblent à des spores ; on dirait avoir affaire à de nombreux mycéliums moulés dans une résine peu colorée.

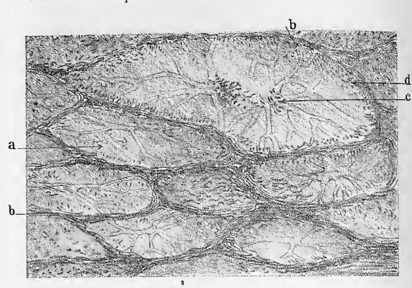


Fig. 40. — Boghead de la Nouvelle-Galles du Sud, grossissement de 500. (D'après M. Renault.)

Des préparations faites dans des Boghead de la Nouvelle-Galles du Sud, d'Autun, ont présenté le même aspect.

Si les Boghead proviennent de la houillification des parties solubles ou devenues solubles par la macération et rendues à un moment donné insolubles par la houillification, on peut se rendre compte de l'aspect tout particulier que ce combustible présente quand il est vu au microscope.

M. E. T. Newton a examiné au microscope la structure des schistes combustibles d'Australie, connus sous le nom de *Tasmanite* et de *houille blanche*. Ce sont des combustibles très imparfaits, car le dernier, notamment, ne contient pas moins de 68,47 pour 100 de cendres.

En traitant la houille blanche pulvérisée par les acides chlorhydrique et fluorhydrique, et en séparant par décantation un peu de sable blanchâtre, on obtient un résidu formé principalement de petits disques bruns, renfermant 96,63 pour 100 de matière combustible et 3,57 de cendres. Ces disques ne sont autre chose que des spores végétales, analogues aux *macrospores* ou aux *microspores* de Flémingites qu'on observe dans diverses variétés de houilles anglaises.

L'examen microscopique des cendres de la houille a permis à M. F. Castracane[1] d'y reconnaître des diatomées qui sont essentiellement d'eau douce ; quelques-unes seulement sont marines.

1. *Association scientifique de France*, 1875, t. XVI, p. 10.

On croyait généralement que les diatomées étaient d'origine géologique assez récente. M. Castracane, se fondant sur ce que les plantes favorisent la respiration animale en décomposant l'acide carbonique pour mettre l'oxygène en liberté, a conclu par induction que l'apparition des diatomées devait remonter à celle des premiers animaux aquatiques. Il a trouvé en effet des diatomées dans les cendres de la houille d'Angleterre et a pu les reconnaître dans un échantillon de charbon de terre provenant de Liverpool.

Il a obtenu le même succès avec la houille de Saint-Étienne, celle de Newcastle et le cannel-coal d'Écosse. Les diatomées de la houille sont des genres d'eau douce associés à quelques genres marins ; ils ne présentent pas de différence appréciable avec les genres actuellement vivants.

§ IV. ORIGINE ET MODE DE FORMATION DE LA HOUILLE.

Depuis bien longtemps on prouve l'origine végétale des combustibles, en s'appuyant sur les faits suivants :

1° Il existe un passage insensible entre le bois des arbres encore debout des forêts et l'anthracite, ce passage est établi par les diverses variétés de tourbe, de lignite et de houille.

2° On observe fréquemment, dans un même échantillon, une partie qui est à l'état de combustible parfait et une autre partie qui a conservé tout à la fois l'aspect du ligneux et des traces de son organisation primitive.

3° On rencontre souvent dans les strates, surtout dans celles du terrain houiller, des tiges, des parties d'écorce, des feuilles qui, tout en conservant la forme qu'elles avaient en premier lieu, sont entièrement transformées en matière charbonneuse.

Patrice, auteur d'une *Histoire naturelle des minéraux* publiée en 1801, émettait cette hypothèse :

Les volcans rejetteraient des matières bitumeuses qui, reçues dans les eaux de l'Océan, iraient s'y mélanger avec du sable pour former des dépôts plus ou moins étendus; plus tard, le sable et le bitume tendraient à se séparer pour former des masses distinctes; une couche de houille se constituerait à la faveur de cette concentration des parties bitumineuses et se trouverait, ainsi qu'on l'observe dans les houillères, resserrée entre deux bancs de grès résultant de l'accumulation des parties sableuses. Le bitume irait également imprégner les troncs d'arbres flottants, et, en augmentant leur densité, les obligerait à se déposer sur les bancs de houille préexistants, ce qui expliquerait pourquoi ces bancs sont fréquemment recouverts de troncs d'arbres.

En 1795, Hutton admettait que les substances végétales sont charriées par les courants fluviatiles et marins au fond de l'Océan, où des matières sableuses et argileuses viennent ensuite les recouvrir. La transformation de cette matière végétale en charbon minéral serait déterminée par la chaleur centrale, qui en opérerait pres-

1. *Atti dell' Accad. dei nuovi Lincei*, Rome, 22 fév. 1874.

que la fusion ; elle serait favorisée par la pression des masses sous-jacentes, qui s'opposeraient au dégagement des matières volatiles.

Des branches d'arbres sont empilées les unes sur les autres, de manière à former une meule que l'on recouvre de feuilles, de terre et de détritus charbonneux provenant des carbonisations antérieures. Le feu étant mis à la meule, des gaz se dégagent par les ouvertures que l'on a pratiquées sur son pourtour ; ces gaz sont de l'acide carbonique et de l'oxyde de carbone produits par la combustion vive du charbon et par la calcination du bois, de l'hydrogène, de la vapeur d'eau, plusieurs matières organiques formées par la distillation du bois, et parmi elles, l'acide acétique, l'esprit de bois et les matières goudronneuses. Lorsque l'opération est terminée, on ferme les ouvertures et on laisse le feu s'éteindre. Tous les éléments qui existent dans le bois ont disparu, à l'exception d'une partie du carbone et des substances inorganiques destinées à être retrouvées sous la forme de cendres. Par ce procédé, le bois donne environ 15 pour 100 de carbone ; plus du tiers du carbone qu'il contenait a été brûlé pendant l'opération.

Par la carbonisation en vase clos on retire 20 à 30 pour 100 de charbon ; on peut, en outre, recueillir les gaz et les liquides qui se dégagent pendant la distillation.

« En 1835, dit M. Fournet, j'ai été amené à fabriquer artificiellement sinon de la houille, du moins quelque chose d'approchant, en déterminant entre les molécules du ligneux une réaction du genre de celles que je supposai avoir dû se produire dans la nature. Tout se réduisait à enfermer un morceau de bois dans un tube hermétiquement scellé. Mais on conçoit qu'en procédant ainsi l'opération n'aurait point eu de terme ; il fallait mettre les principes organiques en mouvement, et, pour remplacer le mouvement intestin qu'il m'était impossible d'obtenir à froid, j'ai eu recours à la chaleur. Malheureusement, mon tube, qui était en fer, fut troué par quelque pyrite contenue dans le coke dont je m'étais servi pour le chauffer, de façon que mon essai se trouva manqué. Vers cette époque, je fis part de mes idées à M. Cagniard de la Tour, qui s'empressa de les mettre à exécution à l'aide de tubes de verre dont le maniement lui était familier. Il obtint ainsi une fusion de bois, dont il résulta un bitume accompagné d'une certaine quantité de gaz. »

« Tous les végétaux, dit Liebig, dès qu'ils cessent de vivre, sont sujets à deux espèces de décomposition, dont l'une porte le nom de « fermentation » et l'autre celui de « pourriture » ou de « combustion lente » ; par cette dernière, les parties combustibles du corps en décomposition se combinent avec l'oxygène de l'air. Le ligneux, cette partie essentielle des végétaux, présente dans sa pourriture un phénomène particulier. C'est qu'au contact de l'oxygène ou de l'air, il convertit l'oxygène en un volume égal d'acide carbonique : dès que l'oxygène disparaît, la pourriture s'arrête. Si l'on enlève cet acide carbonique et qu'on le remplace par de l'oxygène, la pourriture s'établit de nouveau et peu à peu cet oxygène est à son tour remplacé par de l'acide carbonique. Puisque le ligneux se compose de carbone et des éléments de l'eau, on peut dire, d'une manière générale, que sa pourriture est identique dans ses résultats avec la combustion du carbone pur à des températures fort élevées : ainsi, le ligneux se comporte, en brûlant lentement, comme si ni son hydrogène ni son oxygène ne se trouvaient combinés avec du carbone. L'accomplissement de ce phénomène de combustion exige un temps fort long ; la présence de l'eau en est également une condition indispensable. Les alcalis en favo-

risent les progrès, les acides les entravent ; toutes les matières antiseptiques, l'acide sulfureux, les sels mercuriels, les huiles empyreumatiques les arrêtent entièrement. »

Le bois maintenu dans l'eau s'y conserve presque indéfiniment, ainsi que le prouvent les pilotis et les troncs d'arbres tombés dans les tourbières.

Mais alors les éléments du bois ne restent pas inertes ; une partie de ces éléments disparaît de manière à rendre de plus en plus considérable la proportion du carbone.

Cette « combustion humide » laisse pour résultat une substance qui n'éprouve l'action comburante de l'oxygène que d'une manière insensible ; cette substance est l'ulmine ou acide ulmique. L'acide ulmique est composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène ; ces deux derniers éléments se trouvent dans les proportions voulues pour faire de l'eau. C'est une substance noire, très fragile, à cassure vitreuse, ayant l'éclat du jayet. Elle est peu sapide et inodore, elle ne se dissout ni dans l'eau ni dans l'éther, mais elle est très soluble dans l'alcool, dans l'acide sulfurique très concentré, dans l'acide acétique à chaud, dans les dissolutions de potasse ; l'eau la précipite de ses dissolutions en se colorant en brun.

A mesure que chaque combustible appartient à un terme plus avancé de la série, il tend à devenir plus pauvre en oxygène et plus riche en carbone ; l'hydrogène, dont la quantité relative reste d'abord à peu près la même, disparaît à son tour lorsqu'on arrive à la houille sèche ; l'anthracite graphiteux n'en contient presque plus. Par conséquent, pendant que les débris de végétaux enfouis dans l'écorce terrestre se transforment de plus en plus, il y a augmentation dans la quantité relative de carbone que renferme la masse résultant de cette transformation ; le carbone tend même à composer à lui seul cette masse, sans pouvoir parvenir complètement à ce résultat. En même temps que l'expulsion de l'oxygène et de l'hydrogène s'accomplit, le carbone s'isole de plus en plus ; les combustibles parfaits, le lignite, la houille, sont des mélanges de carbone pur avec divers carbures d'hydrogène qui disparaissent même d'une manière complète dans l'anthracite graphiteux.

La nature, en transformant des débris de végétaux soumis à l'influence désorganisatrice de l'atmosphère, arrive au même résultat que l'homme qui fabrique du charbon. Mais cette carbonisation naturelle se développe avec lenteur ; le temps remplaçant la haute température mise en œuvre par l'industrie. Dans un cas et dans l'autre, la chaleur et le temps ne jouent qu'un rôle secondaire : les véritables forces mises en œuvre sont les actions chimiques qui s'exercent spontanément sur les ligneux.

De nombreuses analogies existent entre les tourbières et les houillères.

La houille et la tourbe résultent d'une transformation chimique de végétaux ; la tourbe étant moins ancienne que la houille, cette transformation est, pour elle, moins avancée et moins complète. Les végétaux qui ont concouru à la production de la houille et de la tourbe appartiennent presque en totalité au groupe des cryptogames acrogènes, ils croissent indéfiniment par le sommet, tandis qu'ils périssent par la base. Le rôle dévolu aux sphaignes dans les tourbières appartenait, dans les houillères, aux sigillaires et aux végétaux à racine stigmariée. Les tourbières reposent ordinairement sur une nappe de terre argileuse qui rend l'eau stagnante et dont le rôle a été jadis rempli par les argiles et les schistes du terrain houiller ;

les grès de ces mêmes terrains correspondent aux bancs de sable qui alternent avec la tourbe. Le fer carbonaté des houillères est représenté dans les tourbières par le fer des marais; l'un et l'autre se sont constitués à la suite des mêmes actions physiques et chimiques. Les tourbières et les houillères offrent la même distribution géographique. La zone de la tourbe coïncide avec celle de la houille. En outre, chacun de ces combustibles est spécial à une période géologique qu'il contribue à caractériser. Comme exemple d'une accumulation de combustible par charriage, on peut citer le lignite ou bois fossile désigné en Islande sous le nom de *surtarbrandur*. On en connaît, comme nous l'avons dit au chapitre précédent, au fond de la baie de Virki, un amas de 110 mètres de long sur 12 d'épaisseur; il est composé de plusieurs couches ondulées, intercalées entre des roches d'origine volcanique. Cet amas est recouvert d'une nappe basaltique de 30 mètres d'épaisseur. Le bois est quelquefois à peine altéré et peut être employé pour la construction; mais d'autres fois le voisinage de roches volcaniques a eu pour résultat de le transformer en lignite piciforme et même en une sorte d'anthracite. Le surtarbrandur a été formé par charriage; le bois dont il se compose est, en bonne partie, venu de loin; la flore arctique de l'Islande n'a fourni que quelques troncs de bouleau. Le Gulf-stream apporte les troncs d'une espèce d'acajou ne croissant que dans les contrées qui entourent le golfe du Mexique; ces troncs sont percés de tarets qui ne vivent que dans les mers du Nord. Les essences que l'on rencontre le plus fréquemment sont les conifères et les bouleaux, qui sont transportés par les fleuves de la Sibérie, traversent l'océan Glacial et n'arrivent qu'après s'être dépouillés, en se heurtant contre les glaces, de leurs rameaux, de leurs racines et de leur écorce.

En 1858 M. Baroulier a imaginé, à Saint-Étienne, un appareil au moyen duquel on peut exposer des matières végétales enveloppées d'argile humide et fortement comprimées à des températures longtemps soutenues, comprises entre 200 et 300 degrés. Cet appareil, sans être absolument clos, met obstacle à l'échappement des gaz et des vapeurs, de sorte que la décomposition des matières organiques s'opère dans un milieu saturé d'humidité, sous une pression qui s'oppose à la dissolution des éléments dont elles se composent. En plaçant dans ces conditions de la sciure de bois de diverses natures, l'auteur de l'expérience a obtenu des produits dont l'aspect et toutes les propriétés rappellent tantôt les houilles brillantes, tantôt les houilles ternes. Ces différences tiennent d'ailleurs soit aux conditions de l'expérience, soit à la nature même du bois employé. Des tiges et des feuilles de plantes couchées entre les lits d'argile laissent dans les mêmes circonstances un enduit charbonneux et des empreintes tout à fait comparables à celles des schistes houillers.

En 1848, M. Violette constata que le bois enfermé dans un vase entièrement clos et exposé à la chaleur de 300 à 400 degrés éprouve une véritable fusion; il coule, s'agglutine et adhère au vase. Après le refroidissement, il a perdu toute texture organique et ne présente qu'une masse noire, miroitante et caverneuse.

Une longue série d'expériences conduisirent, en outre, ce savant, aux conclusions suivantes :

A 200°, le bois ne carbonise pas; à 250°, on n'obtient qu'un charbon incuit, autrement dit, des brûlots; à 300°, on forme le charbon roux; à 350° et au delà,

l'opération donne invariablement du charbon noir. De même dans la nature, on passe du bois vivant au bois fossile ayant conservé sa coloration primitive, puis à un combustible invariablement noirâtre, quelle que soit sa nature, lignite, houille, anthracite.

Le temps nécessaire à la carbonisation a varié, dans les expériences de M. Violette, de trois heures à une heure et demie; les produits sont passés progressivement du charbon roux au charbon noir. Dans l'appareil, la vapeur d'eau, portée à 300°, pénétrait dans le cylindre qui renfermait le bois, opérait la carbonisation de ce bois en l'échauffant, puis sortait du cylindre chargée des produits de la distillation.

Les charbons, étant allumés, conservent leur ignition pendant une durée qui varie et décroît avec la température de leur carbonisation. Le charbon fait à 260° brûle le plus facilement et le plus longtemps; ceux faits aux températures comprises entre 1000° et 1500° se refusent à toute ignition et ne peuvent être brûlés. Des faits du même ordre s'observent dans la série des combustibles. Lorsque la flamme du lignite est éteinte, elle se couvre d'une cendre blanche et continue à brûler ainsi que cela a lieu pour la braise. La houille se couvre bien aussi d'une cendre blanche, mais elle cesse de brûler presque aussitôt. L'anthracite a besoin, pour être mis en ignition, d'une ventilation très active. Le graphite ne brûle que très difficilement par l'action de la flamme extérieure du chalumeau.

La quantité de gaz contenue dans le charbon varie avec la température de la carbonisation : à 250°, elle est la moitié du poids du charbon ; à 300°, le tiers; à 350, le quart; à 400, le vingtième; à 1500, le centième environ. Le charbon contient toujours des gaz et la plus haute chaleur ne peut l'en dépouiller. De même, dans la série des combustibles, on voit la quantité de matières gazeuses qu'ils renferment diminuer à mesure qu'ils sont plus anciens, mais, quel que soit leur âge, ils en contiennent toujours ; le graphite le plus pur, celui qui est employé dans la fabrication des crayons Broukmann, en renferme 25 pour 100.

Le charbon contient du carbone en quantité proportionnelle à la température de la carbonisation : à 250°, il en renferme 65 pour 100 ; à 300°, 73 pour 100 ; à 400°, 80 pour 100, et au delà de 1500°, 96 pour 100 environ, sans qu'il ait jamais été transformé en carbone pur, même à la plus haute température qu'il ait été possible de produire celle de la fusion du platine. La quantité de carbone contenue dans les combustibles fossiles est également en raison de leur ancienneté ; aucun d'eux ne nous montre le carbone à l'état de pureté. Ni la chaleur, ni le temps ne peuvent donc transformer les débris végétaux en carbone pur.

Le carbone, que le bois contient normalement, se divise dans l'acte de la carbonisation en deux parties, dont l'une reste dans le charbon et l'autre s'échappe avec les matières volatiles. Ce partage est variable avec la température de la carbonisation : à 250°, le carbone qui reste dans le charbon est le double de celui qui s'est échappé; entre 300° et 350°, les deux parties sont égales, et au delà de 1500°, la quantité de carbone échappée est double de celle restée dans le charbon. Le même phénomène se produit dans la carbonisation naturelle. Une certaine quantité de carbone disparaît pendant que ce phénomène se développe, et cette quantité est ordinairement d'autant plus grande que ce combustible est plus ancien ou, en d'autres termes, appartient à un terme plus avancé de la série.

« En admettant, dit M. Fremy, que la tourbe, le bois fossile, le lignite, la houille et l'anthracite se sont formés dans des circonstances différentes et qu'ils appartiennent à des terrains d'âges variables, j'ai voulu suivre, dans ces variétés de combustible, le degré d'altération du tissu organique. L'étude de la tourbe ne m'a présenté aucun fait réellement nouveau : à côté des organes élémentaires non altérés que l'on rencontre en si grande quantité dans la tourbe fibreuse, j'ai trouvé, suivant l'altération de ce combustible, des proportions variables de ces composés bruns, neutres ou acides, azotés ou non azotés, que nous désignons sous le nom général de composés ulmiques ; la présence de ces corps vient, du reste, établir une distinction nette entre la tourbe et les tissus organiques non altérés. Quoique le lignite xyloïde ou ligneux ait souvent la ténacité et l'apparence du bois ordinaire, j'ai reconnu que, dans ce produit, le tissu ligneux a éprouvé une profonde modification; il se réduit en poudre fine par la trituration; soumis à l'action d'une dissolution étendue de potasse, il cède à l'alcali une quantité considérable d'acide ulmique.

« Les deux réactions suivantes viennent établir une différence bien tranchée entre le bois ordinaire et le lignite xyloïde. Lorsque l'acide azotique réagit à chaud sur le bois, il dissout une partie seulement des fibres et rayons médullaires et laisse la matière cellulosique très pure qui se dissout sans coloration dans l'acide sulfurique concentré. Dans les mêmes circonstances, le lignite xyloïde est attaqué avec une grande énergie et transformé complètement en une résine jaune, soluble dans les alcalis et dans un excès d'acide azotique. Les hypochlorites dissolvent rapidement une partie des fibres et des rayons médullaires, mais ils laissent la matière cellulosique à l'état de pureté ; le lignite xyloïde se dissout presque entièrement dans ces réactifs en ne laissant que des traces impondérables de fibres et de rayons médullaires incolores. Par conséquent, lorsque les tissus ligneux sont arrivés à l'état de lignite xyloïde, ils ont éprouvé dans leur substance une modification profonde, ils contiennent alors des principes immédiats nouveaux caractérisés par leur solubilité complète dans l'acide azotique et dans les hypochlorites. Lorsqu'on soumet un lignite compact à l'action de la potasse concentrée, on voit quelquefois la liqueur se colorer en brun et dissoudre une petite quantité d'acide ulmique ; mais ordinairement la liqueur alcaline ne réagit pas sur le combustible, ce qui établit une distinction entre le lignite xyloïde et le lignite compact. J'ai toujours reconnu que les lignites qui résistent à l'action de la potasse sont ceux qui par leur gisement se rapprochent le plus des terrains houillers. Les lignites compacts noirs et brillants comme la houille se dissolvent entièrement dans les hypochlorites alcalins, sont attaqués avec la plus grande rapidité par l'acide azotique, en produisant cette résine jaune dont j'ai parlé, en traitant du lignite xyloïde. Ces deux caractères ne permettent pas de confondre les lignites et les houilles. Ces derniers combustibles ne se dissolvent pas dans les hypochlorites et ne sont attaqués que lentement par l'acide azotique. La houille et l'anthracite se dissolvent d'une manière complète dans un mélange d'acide sulfurique monohydraté et d'acide azotique, la liqueur prend une coloration brune très foncée, et tient en dissolution un composé ulmique que l'on peut précipiter complètement. »

Opinion d'Élie de Beaumont. — Pour Élie de Beaumont, la houille s'était formée sur place.

Il avait calculé qu'une couche de bois sans interstices, changée en houille, sans perte de carbone, diminuerait d'épaisseur dans le rapport de 1 à 0,2280. En tenant compte de la quantité de matière ligneuse contenue dans un hectare de taillis de vingt-cinq ans, il calculait que cette matière ligneuse formerait sur toute la surface de l'hectare une couche continue et sans interstices de $0^m,008486$ d'épaisseur transformée en houille, d'après les évaluations précédentes, cette couche de bois reviendrait à une couche de houille de $0^m,008486 \times 0^m,2280 = 0^m,001935$ ou environ deux millimètres d'épaisseur. Il existe probablement, disait l'illustre géologue, peu de futaies, même parmi les plus épaisses, qui contiennent autant de carbone qu'une couche de houille de même étendue et d'un centimètre d'épaisseur. La surface des terrains houillers reconnus en France forme $\frac{1}{200}$ de la surface totale du territoire. Si l'on tient compte de la stérilité de certains terrains, on verra qu'une futaie de la plus belle venue possible serait loin de contenir autant de carbone qu'une couche de houille de 2 mètres d'épaisseur étendue dans les seuls bassins houillers connus. Ces résultats, qui sont de simples approximations, suffisent cependant pour donner une haute idée du phénomène, quel qu'il soit, par suite duquel a eu lieu l'accumulation de matière végétale nécessaire pour produire une couche de houille ayant 1 mètre, 2 mètres et jusqu'à 30 mètres d'épaisseur, comme celle du bassin houiller de l'Aveyron. On a quelquefois supposé que les couches de houille pouvaient résulter de l'enfouissement de radeaux de bois flotté; mais les calculs précédents conduisent à reconnaître que ces radeaux devraient avoir eu une épaisseur énorme et tout à fait inadmissible. Le bois, lorsqu'on le range en stères, présente de nombreux interstices qu'on évalue à plus des $\frac{38}{128}$ du volume total; pour des branchages, la somme des vides est encore plus grande. Dans un radeau naturel, les troncs ne pourraient être aussi bien rangés que dans les bois en stères, et l'on peut supposer sans exagération qu'un radeau naturel renfermerait la moitié de son volume de vide, par conséquent, un pareil radeau, s'il pouvait être réduit en houille, sans aucune perte de carbone, en donnerait une couche dont l'épaisseur serait $\frac{1}{2} \times 0^m,2280$ ou $0^m,1140$, c'est-à-dire moins du huitième de la tonne. Ainsi, une couche de houille épaisse d'un mètre supposerait un radeau de $8^m,76$; une couche de houille de 2 mètres supposerait un radeau de $17^m,52$; une couche de houille de 30 mètres supposerait un radeau de 263 mètres. Il faut en outre remarquer que la houille provient de végétaux d'une faible densité, et, pour tenir compte de cette différence, il faudrait tripler les épaisseurs et supposer des radeaux de 26, 52 et 788 mètres, ce qui dépasse les limites du possible.

Travaux de M. Fremy. — Après des travaux considérables sur les tissus végétaux, M. Fremy est arrivé à une méthode qui lui a permis de faire l'analyse du tissu végétal le plus complexe aussi facilement que celle d'une substance minérale, et il a pensé qu'il pouvait étudier le mode de décomposition de ces tissus et aborder la question difficile de la production des *combustibles fossiles*.

« Dans mes études sur les combustibles fossiles[1], dit-il, je me suis appliqué

1. *Compt. rend. de l'Acad. des sciences*, t. LXXXVIII, n° 21, 26 mai 1879, p. 1048.

d'abord à chercher quelques caractères chimiques qui me permettraient de distinguer entre eux le bois, la tourbe, les différents lignites, la houille et l'anthracite. Ceux que j'ai trouvés sont les suivants : le *bois* n'est pas sensiblement attaqué par une dissolution étendue de potasse, tandis que la tourbe cède à cet alcali des quantités souvent considérables d'acide ulmique ; le *lignite xyloïde* ou *bois fossile* contient encore des proportions d'acide ulmique, mais ne peut être confondu ni avec le bois ni avec la tourbe, parce qu'il est transformé en résine jaune par l'acide azotique et qu'il est complètement soluble dans les hypochlorites ; le *lignite compact* ou *parfait* ne contient plus sensiblement d'acide ulmique, mais se dissout encore dans l'acide azotique et dans les hypochlorites ; quant aux *houilles* et à l'anthracite, elles sont caractérisées par leur insolubilité dans les dissolvants neutres, acides, alcalins et dans les hypochlorites.

« En m'appuyant sur les faits que je viens de résumer, j'ai abordé par la synthèse la question de la formation des combustibles fossiles.

« Les belles expériences de notre confrère M. Daubrée sur l'anthracite, et celles non moins intéressantes de M. Baroullier sur la houille, me permettaient de penser que la transformation houillère s'était produite par l'action de la chaleur et de la pression sur les végétaux.

« Pour analyser le phénomène, j'ai disposé une série d'essais dans lesquels les tissus des végétaux d'une part, et de l'autre les substances qui les accompagnent le plus fréquemment dans l'organisation, étaient chauffés entre 200 et 300°, pendant de longues heures, dans des tubes de verre fermés aux deux extrémités.

« Mes premières expériences ont été faites sur des tissus végétaux formés de cellulose et de vasculose, et ensuite sur des tissus à base de eutose.

« J'ai constaté que ces tissus éprouvaient dans ce cas, une modification profonde ; ils devenaient moins cassants, dégageaient de l'eau, des acides, des gaz, des goudrons, mais ils conservaient leur organisation première ; ils n'entraient pas en fusion et donnaient un produit fixe qui n'offrait aucune ressemblance avec la houille.

« Soumettant à la même épreuve un certain nombre de corps produits par l'organisme, et qui se trouvent dans les tissus, tels que les sucres, l'amidon, les gommes, la chlorophylle, ainsi que les corps gras et résineux qui l'accompagnent dans les feuilles, les résultats ont été bien différents.

« J'ai reconnu en effet que, par une longue calcination faite sous pression, ces corps se transformaient en substances qui ont une certaine analogie avec les houilles. Elles sont noires, brillantes, souvent fondues, absolument insolubles dans les dissolvants neutres, acides et alcalins, bien différentes du charbon, car, en les chauffant au rouge, elles se comportent comme de véritables substances organiques, dégagent de l'eau, des gaz, des goudrons, et laissent comme résidu fixe un coke dur et brillant.

« L'analyse de ces matières, que je désignerai sous le nom de *substances houillères*, est venue confirmer leur ressemblance avec la houille :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Houille du sucre.	66,84	4,78	28,43
Houille de l'amidon.	68,48	4,68	26,86
Houille de la gomme arabique. .	78,78	5,00	16,22

« Il m'a paru intéressant de rapprocher ces analyses de celle d'une houille sèche de Blanzy, faite autrefois par Regnault :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.
Houille de Blanzy. . .	76,48	5,23	16,01	2,28

On constate donc ici une analogie presque complète entre la composition de la houille de gomme et celle d'une houille naturelle.

« Je tenais à opérer d'abord sur trois substances parce que, d'après Ad. Brongniart, elles devaient être abondantes dans les végétaux qui ont produit la houille, et que la gomme provient souvent de l'altération des tissus, comme notre confrère, M. Trécul, l'a démontré.

« Je tire naturellement des faits que je viens d'exposer cette conséquence que les principes contenus dans les cellules des végétaux, tels que les sucres, l'amidon, les gommes, ont dû jouer un rôle important dans la production de la houille, puisqu'ils se transforment, sous l'influence de la chaleur et de la pression, en substances noires, insolubles dans tous les dissolvants et qui se rapprochent beaucoup des houilles par leurs propriétés et leur composition.

« Ce résultat était intéressant sans doute, mais le problème que je m'étais proposé n'était encore qu'en partie résolu; pour le compléter, il s'agissait d'expliquer comment les tissus des végétaux pouvaient perdre leur forme organique pour produire une masse amorphe qui est la houille; il fallait, en outre, faire éprouver aux tissus organiques la *transformation houillère*, que j'ai réalisée en opérant sur les corps non organisés qui les accompagnent.

« Mes études sur les lignites et sur la tourbe devaient ici m'être d'un grand secours : j'avais vu en effet apparaître dans les combustibles l'acide ulmique à mesure que les tissus ligneux perdaient leur organisation; quand une tourbe était avancée, je n'y trouvais plus que des restes insignifiants de tissus organisés, mais alors elle contenait jusqu'à 50 ou 60 pour 100 d'acide ulmique. En examinant des bois fossiles, j'y ai trouvé des couches assez épaisses, noires et brillantes d'acide ulmique, provenant de la transformation de la vasculose, à côté des fibres ligneuses qui n'étaient pas encore complètement désorganisées. Cette observation était précieuse pour moi : elle démontrait en effet la *transformation sur place* et dans l'intérieur même du tissu ligneux, d'une partie du bois en acide ulmique.

« J'ai été conduit à admettre ainsi un fait qui me paraît dominer toutes mes recherches, c'est que *les végétaux sont changés d'abord en tourbe avant de produire la houille, et que, dans cette modification, la disparition des tissus organisés était due à une sorte de fermentation tourbeuse*, comme le pense notre confrère Van Tieghem.

« Mais, pour confirmer cette hypothèse, il me restait à prouver que les acides ulmiques et surtout celui de la tourbe peuvent, comme les corps que j'avais expérimentés précédemment, se transformer en houille.

« Tel a été le but des essais qui me restent à décrire.

« J'ai opéré sur trois sortes d'acides ulmiques : 1° sur l'acide ulmique que j'ai retiré de la tourbe; 2° sur l'acide saccharhumique, que notre confrère M. P. Thenard m'a donné et qui sert de base à ses importants travaux ; 3° sur l'acide ulmique obtenu en traitant la vasculose par les alcalis.

« Tous ces acides ulmiques se sont transformés en substances houillères sous la double influence de la chaleur et de la pression ; le temps de l'opération, que j'ai prolongé jusqu'à 200 heures, a déterminé dans le produit une augmentation de carbone.

« Voici la composition de ces houilles artificielles produites par les acides ulmiques :

	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.
Houille de l'acide ulmique retiré de la houille et chauffé pendant 24 heures	67,48	5,84	26,68.
Même produit, chauffé pendant 172 heures	71,72	5,03	23,25.
Même produit, chauffé pendant 120 heures	76,06	4,99	18,95.
Houille produite avec l'acide ulmique de la vasculose	76,43	5,31	18,26.

« Ces analyses démontrent donc que l'acide ulmique provenant soit de la tourbe, soit d'un élément du bois, la vasculose, se change en un corps qui présente exactement la même composition qu'une houille naturelle, et qui est insoluble comme elle dans tous les dissolvants.

« L'acide saccharhumique s'est comporté comme l'acide ulmique de la tourbe.

« Quant à l'acide ulmique dérivé de la vasculose, il est remarquable par sa fusibilité ; s'il s'est engendré, comme je le crois, avant la transformation houillère, il peut rendre compte de la production des houilles grasses et fusibles.

« Pour compléter ces observations sur les corps qui sont intervenus dans la formation des combustibles fossiles, j'ai examiné les modifications qu'éprouvent, sous l'influence de la chaleur et de la pression, les mélanges de chlorophylle, de corps gras et de résines que l'on retire des feuilles par un traitement à l'alcool.

« Ce mélange, chauffé sous pression pendant 150 heures, et qui était avant l'expérience soluble dans les alcalis, m'a donné une substance noire, visqueuse, odorante, absolument insoluble dans les alcalis caustiques, et qui présentait une analogie évidente avec les bitumes naturels. »

De ces faits, que nous avons tenu à reproduire *in extenso*, M. Fremy a tiré les conclusions suivantes :

1° La houille n'est pas une substance organisée.

2° Les empreintes végétales se sont produites dans la houille comme dans les schistes ou toute autre substance minérale, la houille étant une matière bitumineuse et plastique sur laquelle les parties extérieures des végétaux se moulaient facilement.

3° Lorsqu'un morceau de houille offre à sa surface des empreintes végétales, il peut donc arriver que les parties de houille sous-jacentes ne soient pas le résultat de l'altération des tisons qui étaient recouverts par les membranes externes dont la forme a été conservée.

4° Les principaux corps contenus dans les cellules des végétaux, soumis à la double influence de la chaleur et de la pression, produisent des substances qui présentent une grande analogie avec la houille.

5° Il en est de même des acides ulmiques qui existent dans la tourbe et de ceux que l'on prépare artificiellement.

6° Les matières colorantes, résineuses et grasses que l'on peut retirer des feuilles se changent, par l'action de la chaleur et de la pression, en corps qui se rapprochent des bitumes.

7° En se fondant sur les expériences décrites dans ce travail, on peut donc admettre que les végétaux producteurs de la houille ont éprouvé d'abord la *fermentation tourbeuse*, qui a détruit toute organisation végétale, et que c'est par une action secondaire, déterminée par la chaleur et la pression, que la houille s'est formée aux dépens de la tourbe.

M. Renault[1] a opposé à M. Fremy de nombreuses objections. Si, dit-il à peu près, les empreintes que l'on trouve souvent dans la houille, telles que les feuilles de cordaïtes et de calamodendrons, etc., ne sont que superficielles et de simples moulages exécutés par un bitume particulier, jadis fluide, maintenant solidifié, ne ressemblant, par ses propriétés, à aucun autre bitume connu, on ne doit trouver à l'intérieur aucune trace de conservation ni aucun indice de structure. Or, en faisant des préparations suffisamment minces pour être transparentes, dans des fragments de houille uniquement formés en apparence d'*empreintes* de feuilles de cordaïtes, on arrive à distinguer, sur une coupe perpendiculaire au limbe, les cuticules et le premier rang de cellules épidermiques, les faisceaux vasculaires qui correspondent aux nervures, les bandes de fibres hypodermiques; mais les cellules lâches à parois minces de mésaphylle ne se voient plus, parce qu'elles ont été écrasées par la pression et que leurs parois se touchent.

Les portions de houille renfermant des empreintes d'écorces de sigillaires ou de lépidodendron laissent voir plus nettement encore le tissu subéreux allongé caractéristique de ces écorces.

Si l'on voulait admettre que le bitume a été suffisamment fluide pour injecter dans toutes leurs parties les débris végétaux, comme la silice, les carbonates de chaux et de fer l'ont fait dans un si grand nombre de cas, on viendrait, d'après M. Renault, se heurter à une grave difficulté. En effet, le nombre est très grand des fragments de houille *isolés* dans les schistes et les grès, et sans *aucune communication* avec des veines de houille ou de bitume qui auraient déterminé l'injection du végétal. On ne peut donc pas admettre un instant cette hypothèse qui aurait entraîné la pénétration bien plus facile des grès et des argiles environnants, et cependant cette gangue perméable est restée intacte et de couleur blanc jaunâtre.

On ne peut admettre davantage que l'injection des plantes par le bitume se soit effectuée à une certaine distance, et qu'après cette opération elles aient été transportées là où on les rencontre. Car il n'est pas rare, à Commentry, de trouver des troncs de *Calamodendrons*, d'*Arthropitus*, de *Fougères*, encore munis de leurs racines, longs de 4 à 10 mètres, dont le bois houillifié entoure la moelle remplacée par un moule pierreux; le fragile cylindre ligneux se serait certainement brisé pendant le transport.

Les échantillons houillifiés selon M. Renault, n'ont jamais été fluides ou pâteux; car ce sont eux qui ont laissé leurs empreintes avec les plus fins détails dans les schistes et les grès, et non ces derniers qui ont laissé leurs traces sur la houille.

1. *Génie civil*, t. VI, n° 9.

La surface des échantillons isolés est nette et leur séparation de la gangue, qui n'a jamais été pénétrée, est des plus faciles. »

Pour notre part, nous estimons que les phénomènes de fermentation étudiés par M. Fremy sont très réels : c'est à eux qu'il faut attribuer la production de la matière combustible *amorphe* si abondante dans toutes les houilles comme dans les tourbes, les lignites et les anthracites (*dopplérite*, etc.). Seulement la fermentation n'a pas toujours envahi toute la masse et les portions qui y ont échappé ont conservé la structure organisée des végétaux générateurs. Dans cette manière de voir, tous les faits observés s'expliquent très aisément.

Théorie de M. Spring; travaux de M. Zeiller. — D'après M. Spring, sous une pression de 6000 atmosphères, la tourbe se change en un bloc noir brillant, dur, *ayant tout l'aspect physique de la houille*, présentant même, sur les bords de la cassure vue au microscope, l'allure feuilletée de la houille ; « le produit ainsi obtenu, ajoute l'auteur, ressemble à la houille au point d'être confondu avec elle par tous les observateurs non prévenus, et, chauffé en vase clos, il donne un coke gris, à éclat métallique imparfait, compact, ne différant en rien du coke obtenu au moyen de la houille. » M. Spring conclut de là qu'une *élévation de température est inutile pour changer la tourbe en houille*, et que les matières végétales ont bien pu se transformer d'abord en tourbe par fermentation, et se changer ensuite en houille sous l'action de la pression seule, sans élévation de température.

M. Zeiller ayant reçu de M. Trautschold, de Moscou, une certaine quantité de Papierkohle du terrain houiller de la Russie centrale, voulut reproduire les expériences de M. Spring sur cette matière, restée depuis son dépôt à l'état d'acide ulmique, et à laquelle il semblait, d'après les conditions de son gisement, n'avoir manqué qu'une compression suffisante pour achever sa transformation en houille.

L'expérimentateur soumit tout d'abord l'acide ulmique naturel de la couche de *papierkohle* de Tovarkova à des pressions de 2000, 4000 et 6000 kilogrammes par centimètre carré; il a obtenu ainsi, dans des appareils spéciaux, des cylindres d'un brun noir brillant, et il a constaté, comme M. Spring, que sous ces pressions la matière devient absolument plastique et pénètre par une sorte d'écoulement dans tous les joints de l'appareil. Mais la substance ainsi comprimée a gardé sa complète solubilité dans l'ammoniaque : elle est donc restée à l'état d'acide ulmique et n'a soumis aucune transformation.

Les résultats ont été identiquement les mêmes quel qu'ait été l'état de la matière soumise à la compression, sèche ou imbibée d'eau ; lorsqu'elle était humide, la matière, entraînée par l'eau, coulait d'abord en grande partie par les joints, et le cylindre comprimé parfaitement sec qui restait à la fin de l'opération ne différait que par sa moindre longueur de celui qu'on avait obtenu en comprimant la poudre sèche.

Un essai de carbonisation fait au Bureau d'essai de l'École des Mines par M. Rioult, sur un des cylindres comprimés à 6000 kilogrammes, a donné un cylindre de charbon extrêmement léger, ne ressemblant que de fort loin à du coke, et qui, allumé par une extrémité, s'est consumé en quelques instants à la manière d'un morceau d'amadou : les résultats numériques de cet essai ont été les suivants :

Carbone fixe	5,48
Matières volatiles	54,25
Cendres très ferrugiueuses	40,27
	100,00

On voit qu'il ne peut être question d'un rapproehement avec la houille, tandis que, dans les expérienees de M. Fremy que nous venons de résumer, l'acide ulmique, chauffé sous pression entre 200 et 300 degrés pendant plusieurs jours, avait subi une véritable transformation chimique et avait donné une matière ayant réellement une eomposition semblable à eelle de la houille. Ici il n'y a eu qu'une simple agglomération.

M. Zeiller a recommeneé l'expérience sur des houilles ligniteuses de la même provenance. Dans leur étude sur les houilles de la Russie centrale, MM. Auerbach et Trautschold[1] ont fait remarquer que les houilles des mines de Malooka et de Tovarkova ressemblent beaucoup plus, sous tous les rapports, à du lignite qu'à de la houille proprement dite. On serait porté, comme pour le Papierkohle, à admettre que c'est à l'absence des couches de recouvrement, et par conséquent au défaut de pression, qu'est due cette transformation incomplète de la matière végétale ; il était, par conséquent, intéressant de voir quelle influence une compression énergique exercerait sur ces charbons.

L'analyse de deux échantillons, faite eomme la précédente par M. Rioult au Bureau d'essai de l'Éeole des Miues, a donné :

	Échantillon A.	Échantillon B.
Carbone fixe	36,4	35,0
Matières volatiles	45,6	46,8
Cendres argileuses	18,0	18,2
	100,0	100,0

La compression a été poussée, pour ces charbons, jusqu'à 10 000 kil. par centimètre carré ; l'analyse des échantillons ainsi eomprimés a procuré les résultats suivants :

	Échantillon A.	Échantillon B.
Carbone fixe	39,4	40,0
Matières volatiles	41,2	40,4
Cendres argileuses	19,4	19,6
	100,0	100,0

La matière est restée agglomérée après la calcinatiou, mais le coke ainsi obtenu n'était nullement identique au coke de houille. On voit que la composition ehimique n'a pas été modifiée par la compression, car si la proportion du carbone fixe paraît un peu plus forte, cela s'explique très simplement par l'état même des matières soumises à l'essai : on compte en effet comme volatile toute la perte de poids que l'on eonstate après calcination, et qui comprend nécessairement la quantité, assez

1. Nouveaux Mémoires de la Société imp. des naturalistes de Moscou, t. XIII, livr. I (*Ueber die Kohlen von central Russland, von Auerbach und Trautschold*, p. 25 à 30).

aible d'ordinaire, mais variable, de carbone brûlé par l'air qui reste dans le creuset : or il est évident que, si la matière est fortement agglomérée, il devra s'en brûler moins que si elle est en grains et si elle offre ainsi plus de surface à l'action comburante de l'air. M. Zeiller a d'ailleurs, pour s'en assurer, chargé M. Rioult de refaire l'essai sur un échantillon d'abord comprimé à 10 000 kilogrammes, puis pulvérisé, et les résultats ont été les suivants :

Carbone fixe	27,0
Matières volatiles.	59,6
Cendres.	19,4
	100,0

On voit que la proportion de carbone fixe a été très notablement diminuée par le fait de la pulvérisation, bien que l'échantillon eût une teneur en cendres sensiblement moindre que les précédents.

En résumé, cette houille ligniteuse n'a, pas plus que l'acide ulmique, été transformée en houille par la compression.

Malgré ces résultats négatifs, M. Zeiller a voulu essayer la tourbe, puisque c'est à cette substance que se rapportaient les expériences de M. Spring, et la soumettre précisément à la pression qu'il avait lui-même indiquée.

Il a opéré sur de la tourbe de Long dans la vallée de la Somme, parfaitement compacte et sèche, extraite depuis un an. Deux prises d'essai ont donné à l'analyse les résultats suivants :

	A	B
Carbone fixe.	25,2	21,2
Matières volatiles.	67,2	68,4
Cendres	7,8	10,4
	100,0	100,0

Les cylindres obtenus par compression à 6000 kilogrammes ont donné :

	A	B
Carbone fixe.	25,0	22,4
Matières volatiles.	66,4	68,0
Cendres	8,6	9,6
	100,0	100,0

On voit que les résultats de l'analyse sont presque identiquement les mêmes pour la tourbe comprimée que pour la tourbe non comprimée ; on trouverait seulement, si l'on ramenait la composition à une même teneur en cendres, une proportion de carbone fixe un peu plus forte dans le second cas que dans le premier, et cela pour la raison indiquée tout à l'heure.

Quant au coke, ou plus exactement au carbone fixe, obtenu par la calcination, il était resté le même, pour les échantillons comprimés, sous la forme de cylindres compacts, mais peu denses, qui, allumés par un bout, ont brûlé comme de l'amadou, ainsi qu'il était arrivé dans les mêmes conditions pour le charbon de l'acide ulmique comprimé.

La tourbe comprimée à 6000 kilogrammes se comporte vis-à-vis des réactifs chimiques identiquement comme la tourbe non comprimée : elle se dissout en partie dans la potasse en colorant la liqueur en brun presque noir, et l'acide nitrique l'attaque avec une extrême vivacité. Enfin, ce qui est plus caractéristique encore, si l'on plonge dans l'eau des fragments des cylindres obtenus par cette compression à 6000 kilogrammes ils ne tardent pas à se désagréger d'eux-mêmes et à se réduire en une bouillie gluante qui ne diffère en rien de la tourbe désagrégée et mouillée.

Donc, conclut M. Zeiller, la tourbe, pas plus que l'acide ulmique naturel et la houille ligniteuse de Tavarkova, n'a subi, par le fait de compression, aucune modification essentielle; il n'y a pas eu transformation en houille, et il est impossible de voir dans la pression seule, quelque considérable qu'elle puisse être, l'agent auquel il faut attribuer la formation de nos couches de combustible minéral [1].

Opinion de M. Rofe. — M. Rofe [2] a cherché quelles peuvent être les circonstances qui ont déterminé la formation du cannel-coal. Après avoir remarqué qu'on le trouve quelquefois interstratifié dans la houille même, il ajoute qu'on y a souvent rencontré, dans le Lancashire, des restes de poissons, tandis que les débris fossiles de la houille encaissante sont presque exclusivement d'origine végétale. En outre, la distillation du cannel-coal donne, dans le col des cornues, des dépôts de chlorhydrate d'ammoniaque, en même temps que les sels ordinaires des houilles, sulfhydrates, sulfates et carbonates ammoniacaux.

D'après ces faits, l'auteur est porté à croire que le cannel-coal doit son origine à des mouvements de terrain contemporains du dépôt de la houille et qui, en livrant accès à l'eau de mer, transformaient en marais salés les marécages d'eau douce dans lesquels se constituaient les couches. — Cette opinion est bien peu vraisemblable.

Expériences de M. Gœppert. — M. Gœppert ayant plongé des substances animales et végétales dans les eaux tenant en dissolution tantôt du calcaire, tantôt de la silice, tantôt des matières métalliques, il reconnut au bout de quelques jours que ces substances étaient minéralisées. De minces lanières de sapin ayant été laissées pendant quelques jours dans une dissolution de sulfate de fer, il les fit sécher ensuite et les exposa à une chaleur assez forte, jusqu'à ce que la matière végétale fût consumée, et que rien ne restât que l'oxyde de fer. La substance métallique avait si bien respecté le tissu primitif que l'on reconnaissait au microscope les vaisseaux ponctuées caractéristiques des conifères.

M. Gœppert a placé aussi des fougères récentes entre des couches molles d'argile séchées à l'ombre; puis il les a chauffées lentement et graduellement jusqu'au rouge. « Cette opération, dit Lyell [3] a donné pour résultat une imitation si parfaite de plantes fossiles, qu'un géologue, même très exercé, aurait pu s'y tromper. Suivant les différents degrés de chaleur appliqués à l'argile, les plantes se trouvaient de couleur brunâtre ou à l'état de carbonisation parfaite; quelquefois, mais plus

1. *Bulletin de la Société géologique*, 3e série, t. XII, p. 680, 1884.
2. *Geological magazine*, t. III, p. 208.
3. *Principes de géologie.*

rarement, elles étaient d'un noir brillant et adhéraient fortement à la couche d'argile. Si la chaleur rouge était maintenue jusqu'à ce que toute la matière organique fût comburée, il ne restait plus que l'empreinte de la plante. »

Travaux de M. Grand'Eury.— La désintégration des végétaux houillers repousse, suivant M. Grand'Eury [1], l'intervention des forces dynamiques violentes mises en jeu par les inondations ou les fleuves actuels.

L'état si invariable de mutilation des tiges, leur désorganisation interne, et surtout la désagrégation de la partie ligneuse sont les effets constants d'actions dissolvantes énergiques.

L'opinion, ou plutôt la supposition, que les forêts carbonifères ont été ravagées de temps à autre par les inondations de grands cours d'eau n'est pas soutenable, car, dans ce cas, on devrait rencontrer des arbres ou des plantes brusquement arrachées, et conservées autrement que la totalité, on peut dire, des restes fossiles, et l'on ne verrait pas toujours les mêmes plantes dans le même état de fractionnement et de conservation.

Tout atteste, au contraire, d'après cet auteur, que le phénomène de division, de désorganisation, de dispersion des débris de plantes, a eu un cours paisible, tranquille et régulier.

Cependant, dans les quartz de Grand'Croix, il y a des inflorescences fossiles qui sont tombées avant d'avoir joué leur rôle, des rameaux non altérés, des feuilles de cordaïtes fossilisées vivantes parmi d'autres mortes, et ces débris très rares offrent tellement de contraste avec les autres, que M. Grand'Eury les attribuerait volontiers à des *coups de vent* comme ceux qui aujourd'hui brisent facilement les pousses tendres des végétaux serrés comme l'étaient ceux de l'époque houillère.

Quoi qu'il en soit, on peut admettre que les végétaux morts étaient décomposés et désagrégés sur place, et n'étaient entraînés par les eaux qu'ultérieurement et pièce à pièce. Ils ne se présentent pas dans le terrain houiller comme ceux déposés par les cours d'eau sur leur delta, moins encore dans le nord que dans le centre de la France, ce qui élimine pour l'auteur la théorie, cependant si séduisante comme on va voir, de la formation de la houille aux bouches des fleuves.

La conservation des tiges réduites à leurs écorces, dit encore M. Grand'Eury ne doit pas trop surprendre ; mais la désagrégation et la dispersion du bois à l'état de fusain paraît avoir exigé le concours d'influences particulièrement énergiques.

Relativement à la désorganisation interne si constante des tiges, les géologues ont cru en trouver une explication dans ce qui se passe encore de nos jours dans les pays chauds, ou même dans les forêts vierges des régions tempérées, là où, dans les endroits bas et humides, le bois des arbres tombés, tel par exemple que celui des *Betula papyracea* des forêts marécageuses de la Nouvelle-Écosse, se détruit en deux ou trois ans, tandis que l'écorce reste presque intacte, ce qui vient de ce que celle-ci est moins poreuse, plus carburée, et renferme plus de matière terreuse que le bois, dont elle diffère d'ailleurs autant sous le rapport chimique que sous le rapport anatomique ; la manière dont brûle celle du bouleau dénote une composition favorable à la combustion de beaucoup de carbures huileux. Mais dans les mêmes

1. Mémoire sur la formation de la houille. *Annales des Mines.* Paris, 1882.

circonstances l'écorce du sapin se désagrège avant que s'écaille son bois, qui dure trois à quatre fois plus de temps que celui du bouleau. Partant de l'idée que les tiges du terrain houiller étaient, de même que les arbres auxquels nous sommes habitués, remplies de bois consistant, les géologues auraient tout aussi bien pu demander le secret du phénomène aux expériences de Lindley [1] et de M. Gœppert [2] par lesquelles ces auteurs nous ont appris que, sous l'influence d'une macération de deux à trois ans au plus, l'intérieur des tiges ligneuses, aussi bien que celui des tiges herbacées, disparaît, tandis que l'écorce résiste et demeure entière.

Mais la plupart des tiges du terrain houiller étaient remplies de cellules nourricières très altérables, entourant un bois peu épais formé de larges vaisseaux peu incrustés.

Or, comme leur écorce était dense et nettement séparée du tissu sous-jacent, ainsi que dans les fougères, il n'y a rien que de très naturel à ce que les tiges houillères soient si ordinairement réduites à leur enveloppe corticale.

Le fusain ressemble tellement à du charbon de bois, comme apparence et parfois même comme composition chimique [3] qu'il a été pris pour du bois carbonisé par le feu du ciel. Le fait est que le quartz de Grand'Croix en renferme avec fibres à parois opaques non décollées, comme dans le charbon de bois; mais, tout à côté, on en découvre dont les éléments anatomiques, ont perdu la régularité de leur forme, comme ceux du bois qui a été soumis à l'action alternative de la sécheresse et de l'humidité. Pour M. Grand'Eury, le fusain est tout simplement l'état fossile du bois enfoui, qui, ayant été desséché à l'air, n'a pas subi la transformation en houille des autres débris végétaux qui avaient pourri au préalable dans les marécages.

On peut conjecturer qu'à l'époque houillère, des actions énergiques accéléraient la désagrégation et la dessiccation du bois. L'état fossile des *turbiculites* montre en tout cas que ces fougères ligneuses ont été constamment très desséchées. La dessiccation rapide seule des tissus mous du *medullaxe* a pu empêcher leur décomposition.

Il n'y a de bois non charbonné que celui qui paraît avoir été soustrait à l'influence de l'air; il est en effet conservé comme celui des souches de cordaïtes qui sont restées inondées. Aussi montre-t-il avoir éprouvé les effets d'une macération plus ou moins prolongée.

Cependant le bois fossile de la houille n'est pas exempt de parties ayant l'aspect de fusain; mais il n'y a rien que de très naturel à ce que la dessiccation et la macération aient, dans quelques cas, mélangé leurs effets.

La désintégration végétale avait lieu rapidement, pour la plus grande partie à l'air, et était complétée par la macération dans des marécages avant transport.

Selon M. Gœppert, les tiges réduites à l'écorce ont subi longtemps la désorganisation de l'air; pour M. Dawson la proportion de fusain indique la part de l'action de l'air dans la désorganisation des tiges.

Cela n'empêche pas que la macération n'ait contribué largement à désorganiser les plantes; elle a pu réduire les arbres à leur écorce comme les souches en place

1. *Fossil flora of Great Britain.*
2. *Abhandlung der Steinkohlen*, p. 147, et *Lehrbuch der chim. und phys. Geologie*, p. 821.
3. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1844, XIX, 126.

de sigillaires; elle seule explique le détachement des cuticules et les téguments libres ; c'est évidemment elle qui a disjoint les couches corticales et désarticulé les tiges noueuses.

La mutilation des frondes de fougère a même exigé une longue macération ; les *Aulacopteris* sont brisés d'une manière trop nette pour que la rupture n'ait pas eu lieu après désorganisation interne et pourriture, car, avant, un très grand effort aurait été nécessaire pour les rompre, et rien n'indique le secours d'une action violente.

La détrition et la quasi-dissolution des débris végétaux étaient parfois poussées très loin au pied des forêts humides et au fond des marécages avant le transport dans les bassins de dépôt.

On avait induit, des empreintes hachées et brouillées près desquelles on en trouve de bien conservées, que les premières avaient été charriées de loin. Il n'est pas besoin de recourir à cet expédient : les débris fossiles se sont en partie charbonnés dans les marécages houillers ; ceux dont nous nous occupons, très altérés, n'auraient d'ailleurs pas résisté à un transport de quelque longueur.

Quant à la masse de tissus végétaux quasi-dissous, elle ne doit pas surprendre lorsqu'on voit la tourbe des marais, où les plantes se décomposent plus rapidement et plus uniformément que dans les tourbières de montagnes, susceptible de former une boue humide. Sous un climat chaud, la décomposition des végétaux houillers devait être rapide et complète ; il devait au moins se former, comme dans les tourbières, de la houille végétale, où plutôt, comme dans les marais de l'Afrique équatoriale, de la vase noire rappelant la poix. Il n'est donc pas besoin de recourir à des plantes cellulaires, qui n'ont pas existé, pour expliquer l'origine de la houille amorphe.

Évidemment, une partie des tissus ont été détruits entièrement par l'action dissolvante de l'atmosphère ou de son jeu alternatif avec l'eau. Mais elle paraît avoir été bien moindre que ne l'a supposé M. Dawson, la station humide des plantes houillères ayant été favorable à la conservation de la matière végétale, au moins pendant quelque temps, avant son transport dans les bassins de dépôt.

Si l'on compare en effet la masse de houille amorphe aux téguments libres, on remarque entre ces parties une séparation qui ne permet pas d'admettre qu'une masse très importante de tissus végétaux avait été détruits. Ils ont été transformés en grande partie, en une sorte de mucilage ulmique comme la gelée végétale floconneuse fixée dans le quartz de Grand'Croix. Une houille ligniteuse du centre de la Russie, composée de substances amorphes de nature ulmique et de cuticules, provenant, selon M. Grand'Eury, de *Bothrodendron*, est une autre preuve que ce mode de décomposition est aussi vieux que le monde organique.

Le phénomène s'est perpétué à travers tous les âges géologiques : les lignites, plus visiblement encore que la houille, sont en effet formés de substances ulmiques avec empreintes, épidermes et cuticules : tels sont le lignite brun de Friedsdorf près Bonn, le lignite fossile de Darmstadt, etc.

Aujourd'hui, la même transformation s'opère sous nos yeux dans les forêts marécageuses et dans les tourbières.

D'après M. Lesquereux, à Kiögge, près de Copenhague, il existe un entassement

1. Zeiller, *Bulletin de la Société botanique*, 1883, p. 348. *Bothrodendron purelatum.*

sur place, tout récent, d'écorces vides de bouleaux dans une pâte végétale à moitié liquide qui provient de la décomposition du bois dans l'eau. Dans les marais aujourd'hui saignés de la Verpillière (Isère) M. Grand'Eury a vu la tourbe formée d'épidermes, jaune paille ou bruns, et d'une substance noirâtre, boueuse, provenant de la décomposition des tissus cellulaires.

Toujours est-il que la houille amorphe est un produit de la pourriture aqueuse de substances végétales, car à l'air, au lieu d'acide ulmique, elles n'eussent fourni que de l'acide carbonique.

Les produits ulmiques qui ont formé la houille amorphe n'ont pas résulté d'une transformation sur place comme dans les tourbières, mais ont été préparés, en dehors des aires de dépôt, sous forme de substances délayées, dans des marécages qui devaient être très étendus à l'époque houillère, où la décomposition végétale ne paraît pas avoir été activée par des bactéries ou à une fermentation cryptogamique quelconque qui aurait fait se détruire la matière végétale dans l'eau, aussi bien que dans l'air. Ce qui a fait supposer le contraire à M. Van Tieghem[1], le mode de conservation des épidermes et des faisceaux vasculaires des racines jeunes, dans les quartz de Grand'Croix, se voit dans tous les marais tourbeux.

Dans ses préparations microscopiques M. Grand'Eury n'a pas découvert le moindre indice de la présence des *Amylobacter*, qui ne doivent pas pouvoir vivre dans des eaux chargées d'acide ulmique, comme l'étaient celles des marais houillers, de même que celles des tourbières actuelles.

Les forêts carbonifères étaient exclusivement marécageuses et aquatiques.

La plupart des tiges du terrain houiller avaient une texture lâche comme celle des arbres des marais des pays chauds, dont les tissus n'ont souvent pas plus de consistance que la moelle de sureau, et les arbres solides étaient au plus haut point médulleux, ce qui est le double cachet d'une végétation non moins rapide que luxuriante; le grand développement foliaire des *Cordaïtes* à tissu lacuneux entre les nervures, causé par une forte absorption d'eau sous une température élevée, les Névroptéridées à frondaison gigantesque, la prépondérance, sur les frondes, des stipes gros comme le bras, des fougères herbacées très élevées sur hampe, tout témoigne d'une végétation exubérante telle qu'aucune de celles existantes ne paraît donner de sa vigueur qu'une image affaiblie. Les calamites, dont le cylindre fibro-vasculaire restait compris entre deux épidermes rapprochés très minces, devaient se développer en quelque sorte à vue d'œil. Et, par des rhizomes, beaucoup de plantes se répandaient avec une rapidité extraordinaire.

Or, on a remarqué que la décrépitude et la mort s'attaquent de bonne heure aux arbres qui grandissent vite dans les marais boisés, sous un chaud climat, et qui ont un bois léger, comme c'est le cas de la plupart des tiges du terrain houiller, lesquelles ne paraissent pas avoir en effet vécu longtemps, même celles de nature ligneuse, qui sont restées généralement au-dessous de la grosseur moyenne, car dans le cœur de ces arbres M. Grand'Eury n'a jamais vu de ces cavités qui aujourd'hui résultent de la désorganisation interne du bois mort, le premier formé, durant la longue vie des gros arbres.

Cela se passait sous une lumière qui n'était peut-être pas très vive puisqu'elle

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1879, décembre, page 1102,

n'a pas contrarié la grande élongation des tiges droites serrées sous branches, et des stipes, mais elle devait être énergique pour avoir carburé les écorces, au point que celles-ci ne sont presque pas réduites par leur conversion en houille, et les avoir rendues si imputrescibles qu'elles ont résisté à l'action désorganisatrice du bois à l'air et des autres tissus dans l'eau.

Il n'y a qu'une forte action lumineuse qui puisse expliquer que des végétaux, comme le *Lepidodendron rhodumnense*, aient pu avoir un tissu lacuneux comme celui des Joncées entre le bois et une écorce extrêmement dense, et que les plantes d'eau aient pu se revêtir de téguments ayant résisté à toute cause de destruction.

Une grande humidité, en arrêtant la transpiration, laissait à la chaleur le pouvoir d'augmenter le développement des axes et des feuilles, et de restreindre celui des racines ligneuses. La quantité et la grosseur des racines aériennes de *Psaronus* et de *Calamodendron* impliquent un air chaud et saturé de vapeur, car elles seraient mortes dans un air sec.

Les végétaux avaient des organes de végétation probablement moins variés que ceux de reproduction ; des surfaces de feuilles et des traits corticaux analogues dénotent un milieu très influent sur les plantes fossiles, dont les éléments anatomiques sont plus larges et plus longs que d'ordinaire dans les végétaux vivants.

Les parties aériennes paraissent s'être précautionnées contre un climat ardent en se recouvrant d'une écorce vivace épaisse ou compacte, très dense, dont la masse domine souvent celle du bois. Toutes les branches jeunes étaient armées, si l'on peut dire ainsi, d'une moelle corticale tutélaire. Les racines des fougères, pour une raison certainement physiologique, descendaient sous et dans l'écorce ou glissaient serrées dessus; leurs fructifications si délicates se prémunissaient des ardeurs d'un climat intense par des enveloppes coriaces; les chatons et les cônes des Cryptogames devenaient ligneux. Les écorces étaient presque toutes pourvues de nombreux tubes gommeux ou de réservoirs d'eau pour résister à la dessiccation sous des coups de soleil brûlant, et elles étaient presque toujours de nature subéreuse pour se garantir contre l'humidité. L'abondance des tubes gommeux sur les *Dolerapteris* est, en effet, due à l'exposition, car leur nombre varie beaucoup; il n'y en a presque pas sur les feuilles qui paraissent avoir séjourné dans l'eau, et ils sont situés au dos des feuilles aériennes, du côté éclairé, sans rapport avec les nervures.

Les résidus, tombant dans le fond marécageux des forêts, subissaient rapidement ce que l'on a appelé la fermentation tourbeuse, c'est-à-dire la pourriture aqueuse. Ils étaient ensuite transportés dans les aires de dépôt, ce qui les préservait d'une destruction complète.

Dans une publication ultérieure [1], M. Grand'Eury constate que la houille normale est formée de lames et de lamelles claires, plus ou moins évidentes sur la tranche, grâce à leur alternance avec des filets plus ternes ; les premières représentent des feuilles ou des écorces plates organisées et les dernières une matière charbonneuse amorphe plus ou moins terne qui leur sert de liant. La houille normale est plus terne lorsque la partie amorphe domine et plus brillante lorsque ce sont les empreintes. Sur la tranche des houilles les plus pures, les écorces ressortent sous formes de lames plus claires sur un fond moins clair. La

1. Grand'Eury. *Annales des mines*, 8[e] série, t. I, 1[re] livraison de 1882.

houille de la grande couche de Rive-de-Gier est composée par parties égales de lames et de lamelles claires séparées par des sillons plus ou moins ternes. Dans les schistes les plus charbonneux ces derniers, qui dominent, sont seulement plus ternes.

Entre la houille normale et la houille compacte il y a des intermédiaires tels que la houille à téguments et la houille de parcelles et bouillie végétale, ou de terreau remanié.

La *houille à téguments* est comme formée de charbon amorphe, stratifié par des épidermes aplatis, la partie amorphe paraissant provenir de la décomposition avant transport de l'intérieur des organes dont il ne reste plus d'apparents que lesdits épidermes. Cette houille, qui est commune, paraît s'être formée avec une grande lenteur[1].

La *houille à parcelles et bouillie végétale* est encore plus abondante. Elle est formée de menus détritus plus ou moins distincts dans la masse charbonneuse, rappelant les parcelles végétales, et noyés dans une pâte charbonneuse plus ou moins organisée; le tout s'étant déposé par petits lits, que séparent des écorces et des feuilles. En devenant crues ou schisteuses, quelques planches de houille se montrent nettement formées de la sorte.

Cette houille, qui domine en Haute-Silésie, serait de nature à confirmer l'idée de Sternberg, si, avec Boué, il n'avait pas voulu que les lames et les lamelles brillantes de la houille eussent toutes la même origine que la partie terne, et provinssent indistinctement de la masse ligneuse des végétaux, délayée et réduite par voie humide à l'état de bouillie.

Il faut faire encore remarquer, au sujet de cette houille, qu'elle offre parfois des surfaces de stratification parsemées de mica et de grains de pyrite, comme le schiste charbonneux où les détritus végétaux sont plus ou moins incorporés à la roche; M. Grand'Eury a même trouvé à Montrambert une veine de charbon perdue, dont les divisions sont identiques à celles des grès noirs, si bien qu'au point de vue de la formation de cette veine, il n'y a pas à douter qu'elle n'ait eu lieu sous l'eau. Il y a même des houilles gréseuses (à la Garenne), contrairement à l'assertion de M. Hooker : ce sont des grès noirs à parcelles et bouillies végétales, dans lesquels les substances charbonneuses dominent.

Les deux espèces de houille dont il vient d'être question ne sont pas exclusives l'une de l'autre : on les rencontre mélangées ensemble. Elles forment, conjointement avec la houille amorphe, les interlignes ternes de la houille normale, de nombreuses veines dans la houille de la grande couche de Rive-de-Gier, le fond même du charbon de Saint-Hilaire (Allier), que barrent des traits et des sillons brillants plus

1. Dans beaucoup de houillères, par exemple dans celles des Rochelles et de la 7e couche, on voit nombre de téguments plus ou moins rapprochés et parallèlement disposés, parmi lesquels tranchent quelques écorces. Une veine perdue au mur de la couche des Littes et une partie de la houille de la couche des Trois-Gores, sont remplies d'un nombre infini de rubans plats représentant des radicules libres de *Psaronius giganteus*, qui strient finement la tranche, rayée en outre de *Psaroniocaulon*, de *Calamodendrons*, et barrée de nerfs bruns pénétrés de détritus fins de *Calamites*, d'*Asterophyllites*, d'*Equisetites*, pourris avant transport.

L'anthracite de Montigné (Mayenne) laisse voir des épidermes et des membranes dans une masse compacte qu'ils stratifient à la perfection. La nature de ces membranes ne permet pas de croire que le gisement se trouve dans le terrain dévonien.

Une houille de Colabrière (Var) présente des épidermes dans une masse terne.

ou moins rapprochés, dus, au moins en partie, à des écorces parallèlement stratifiées dans la masse.

La houille de la troisième couche passe souvent, du moins à Montrambert, à du charbon cru par lequel on voit que la majeure partie de cette houille, est formée de menus débris de plantes, tantôt mélangés de fragments et de lames corticales, tantôt noyés dans une masse noire homogène.

La houille terne, toute organisée, de la Chapelle-sous-Dun, paraît avoir été formée par un humus tourbeux de forêts humides; il en est de même d'une houille mate de Vendes (Cantal).

Le carouge de Sainte-Foy l'Argentière est une sorte de terreau remanié, à particules fines et à points charbonneux.

La houille amorphe règne en Haute-Silésie, dans l'Oural, etc. Elle domine souvent la partie organisée de la plupart des houilles.

La houille amorphe, terne, que l'on pourrait croire formée assez différemment des autres, leur est parfois intimement mélangée, et quoique souvent compacte, elle est stratifiée aussi bien, sinon mieux. Elle accuse toujours des traces végétales, d'autant plus visibles que le charbon est plus terreux. Elle résulte d'une précipitation lente en lits très minces, au fond de l'eau, de substances ulmiques où sont restés distincts quelques détritus végétaux et souvent beaucoup de macrospores. En examinant au microscope la houille terne la plus compacte, on y découvre toujours, à part le fusain, quelques restes de structure végétale. On ne connaît guère qu'un cas de dépôt de matières charbonneuses, si délayées qu'on pourrait de prime abord douter de son origine organique, c'est celui d'un charbon terne, fissile, de Commentry, ayant des surfaces de stratification analogues à celles des schistes bitumineux; toutefois, dans quelques parties de cette houille, on distingue des pellicules épidermiques ; et « pour moi, dit M. Grand'Eury, son origine végétale est aussi certaine que celle des houilles fissiles et des houilles homogènes, dont la composition est détaillée dans la note ci-dessous[1]. »

Le cannel-coal est comme formé d'une dissolution végétale, déposée en lits si ténus que, sur la tranche, la cassure simule parfois une fausse texture de bois qui a trompé Witham[2]; cet auteur a donné deux coupes de cannel-coal du Lancashire, l'une prise sur le plat, floconneuse, et l'autre en travers, fibreuse, qui n'ont de ligneux que l'apparence. Cette espèce de charbon se rattache aux houilles à gaz[3].

Le *parrot-coal*, renfermant des cellules et des fibres brunes, est pour M. Gœppert, un produit de houillification incomplète par la voie humide. Le splent-coal renferme beaucoup de macrospores ; il en de même de la carruche ou houille amorphe. mélangée de schistes de Rive-de-Gier, formée d'une boue noire avec particules végétales.

Des houilles mates aux houilles rocheuses il n'y a qu'un pas, ces dernières étant

1. La houille noire de Brombay (centre de la Russie) est comme formée de boue noire végétale, où le microscope découvre des bouts de cellules dénotant une détrition complète.

Les 3e et 4e crues de la Béraudière fournissent une houille fissile à cassure schistoïde s'effeuillant en lames plus ou moins claires ou ternes. Cette houille est formée d'un limon végétal déposé avec une extrême lenteur. (Note de M. Grand'Eury.)

2. *The internal Structure of fossil vegetables*, p. 50.

3. Le cannel-coal de Montrambert passe réellement au charbon à gaz compact plus ou moins clair formé de parcelles et de houillie végétales ; sur la tranche, de fins pointillés parallèles et de rares traits brillants en dessinent la stratification.

formées des mêmes parties organiques, seulement plus mélangées de matière terreuse. Le boghead d'Ecosse, qui a le grain du gore, est formé d'une vase d'étang où ont poussé quelques racines de *Stigmaria*. Le *blackbass* est une argile si fortement chargée de matières bitumineuses qu'elle approche du cannel-coal.

La houille tendre, argileuse, renferme des grains de bois pourri et des filets charbonneux dans une terre noire. Au nombre des combustibles qui n'ont pas pris de consistance, M. Grand'Eury signale encore la *Moorkohle*, rappelant le tabac à priser ; selon lui, cette houille pourrait être née du terreau de forêts non inondées ; dans tous les cas elle n'a pas été cimentée par la dopplérite.

La houille *barrée* est une alternance de minces lits de houille mate et de houille claire avec des sillons de fusain ; à Sarrebruck, elle est composée d'écorces de Sigillariées et de *Lépidodendrons* séparées par du terreau végétal renfermant de minces débris foliaires et épidermiques.

Les houilles *nerveuses* sont entrelardées de veines impures, ternes, schisteuses, formées de menus débris apportés avec une boue végétale limoneuse. C'est ainsi que le rafford de la grande couche de Rive-de-Gier, au Bon, est un charbon plus ou moins pur coupé de veines de carruche lourde et cendreuse et de gore charbonneux. Le *tamard* de Bert est une alternance de houille et de cordons de gore charbonneux pointillé finement sur la tranche par des parcelles végétales.

La houille *minéralisée* par le carbonate de fer a une texture schisteuse à bandes rougeâtres et cordons noirâtres alternes. Elle est striée parfois de filets de houille en tel nombre qu'elle contient jusqu'à 50 pour 100 de matière charbonneuse et bitumineuse. A Decazeville elle est parfaitement stratifiée par des écorces et des feuilles, et rubanée par des lignes de houille terne. En un endroit de la troisième brûlante, à Montrambert, la matière charbonneuse est fondue à la roche comme si elle s'était précipitée très délayée en même temps que le minerai. Dans la Ruhr, le mélange est encore plus intime.

Les lames et les lamelles claires de la houille normale représentent très généralement des débris chlorophylliens aplatis et stratifiés.

On s'assure aisément que, dans le charbon schisteux surtout, les lames et les lamelles claires nettement délimitées représentent des feuilles et des écorces aplaties. On ne peut en exempter que quelques veines de charbon ressemblant à du brai, plus ou moins épaisses et continues, comme on en voit dans la troisième couche à Beaubrun et à la Barallière. A part cela, on ne connait que la houille de Bert pour avoir des lamelles brillantes, mais peu nettes, formées visiblement des mêmes détritus délayés plus purs que ceux de la partie terne.

Suivant M. Gœppert[1], presque toujours, dans le charbon même, on n'aperçoit que des écorces de tiges si aplaties que leur paroi interne est appliquée sur elle-même et ne se trouve disjointe, dans quelques cas, que par l'interposition d'une même lame de terre bitumineuse. C'est près de ses joints de stratification que la houille, moins compacte, laisse voir de même les empreintes de feuilles et d'écorces qui affleurent en traits brillants sur la tranche. De la Bèche a bien constaté[2] que les *Sigillaria*, les *Lepidodendron* et aussi les *Stigmaria* visibles dans la houille

1. *Abhandlung der Steinkohlen*, p. 68 et 75.
2. *Memoirs of the geologcal Survey*, 1846, vol. I, p. 153.

sont couchés, étendus parallèlement aux plans des lits. Les tiges aplaties et les feuilles superposées s'y croisent dans tous les sens comme les empreintes, au toit immédiat des couches de houille.

On s'est demandé si les empreintes vues dans la houille n'y ont pas été introduites accidentellement et si elles n'entreraient que pour une partie infime dans sa composition. Dans certaines houilles, on peut remarquer au contraire qu'elles forment la masse prépondérante du charbon, ce qu'on voit nettement lorsque cette houille devient un peu schisteuse.

Ainsi ce sont les écorces et les feuilles qui forment en plus ou moins grande partie la houille normale que déprécient les débris ligneux presque toujours putréfiés, et il n'y a pas lieu de s'en étonner, un grand nombre de végétaux houillers ayant poussé principalement en écorce.

Les écorces de *Lepidodendron*, de *Sigillaria*, de *Calamites* et de *Calamodendron*, simples et régulièrement aplaties, produisent une houille admirablement stratifiée que lamellent aussi bien les *Tulcacoptères* que les feuilles de *Cordaïtes*. Sous ce rapport, les houilles du *Lower-Coal-measures* du Lancashire sont, de tous les charbons, ceux qui réalisent le mieux la parfaite stratification par des écorces.

Dans les houilles de *Cordaïtes* du centre de la France, les écorces rameuses, souvent ployées, ondulent la stratification; mais, non plus que les rares traces ligneuses toujours couchées qu'on rencontre dans quelques houilles, ces écorces n'altèrent la stratification générale de la houille; tout à côté, au-dessus et au-dessous, il y a du charbon parfaitement rubané; les écorces, les branches et les rameaux entremêlés aux feuilles sont superposés ou séparés par de légères interpositions de houille amorphe; au Clos-Maquet, à Saint-Chamond, une houille pareille à fortes lames verticales ondulées, est mélangée de schistes charbonneux pleins de feuilles et de menus détritus végétaux.

Seule, la houille des amas de Bézenet, de Montchanin, de la Taupe (Brassac), du Mouriné au sommet de la butte d'Avaize, de la Barge à Firming, est assez mal stratifiée; des parties sont contusionnées par suite d'un tassement irrégulier occasionné par des nœuds de *Psaronius*, mais tous les débris végétaux y sont couchés les uns sur les autres parallèlement à la stratification générale qu'accusent des lits et les veines entremêlés ou encaissants de charbon feuilleté par des empreintes parallèles.

Les écorces et les feuilles se présentent et sont dispersés dans la houille normale comme les empreintes dans les schistes.

Pour M. Grand'Eury, comme pour MM. Gœppert et Geinitz, les feuilles et les écorces entrant dans la composition de la houille sont les mêmes que celles des schistes associés.

« Je crois de plus, dit-il, qu'ils s'y présentent de la même manière et qu'ils ont été accumulés par les eaux à peu près dans l'état d'aplatissement où se trouvent les écorces; car si ces dernières se fussent déposées non comprimées, on les verrait, aujourd'hui que le tassement les aurait aplaties, présenter des plis et autres signes de torture, qu'elles n'offrent pas du tout; en outre, les feuilles qui leur sont associées ne donneraient pas à l'ensemble cette structure fissile qui caractérise certaines parties de houille aussi bien que les schistes charbonneux. »

En effet, au Crêt de Roch, on voit des empreintes ordinaires, plus ou moins

abondantes dans des schistes noirs, arriver à former successivement, mais non simultanément, d'un lit à l'autre, des schistes charbonneux, de la houille crue et enfin des veines de bonne houille. A la Terrasse, les empreintes qui forment une couche à la Parchère, sont, les unes isolées dans des schistes, les autres agglomérées en veines de houille composées, quelques-unes, visiblement, de l'épaisseur ajoutée d'écorces et de feuilles de cordaïtes et de bois aplati, ces derniers faisant à peine saillie au-dessus et au-dessous. Les veines de houille résultent visiblement de la condensation des empreintes, répandues à profusion dans les schistes adjacents. Au reste, nous aurons l'occasion de décrire plus loin de nombreux passages de la houille ou schiste charbonneux.

D'un autre côté, les différents organes des plantes sont aussi souvent séparés que mélangés dans la houille, et peut-être même plus que dans les schistes charbonneux déposés, eux au moins, par des eaux courantes; c'est ce que l'on constate à Sarrebruck comme à Saint-Etienne. Les feuilles et les écorces de *Cordaïtes* sont souvent associées, mais il y a des planches de houille entièrement composées de feuilles seules, et la houille de *Cordaïtes* renferme souvent un peu de fusain. Il y a, au contraire en Haute-Silésie, des couches de houille terne presque exclusivement formées de fusain. Alors que dans les schistes charbonneux, les frondes de fougères gisent à côté de leurs stipes, ces frondes ne s'aperçoivent pour ainsi dire, au milieu de la houille, que dans les veines terreuses; il y a même des houilles qui se montrent entièrement formées de *Stipitopteris* et d'*Aulacopteris*, sans pinnules discernables; on ne dit pas qu'il n'y en a point, mais on croit pouvoir avancer que le triage par les eaux a souvent séparé les frondes des Névroptéridées de leurs stipes, pendant la formation de beaucoup de houilles, sans doute parce qu'une longue macération les avait plus complètement dissociées; le fait est que les débris végétaux sont plus menus et plus délayés dans la houille que dans les roches adjacentes.

La matière végétale formant la houille est la même qui noircit les schistes et les rend plus ou moins charbonneux.

On peut croire non seulement, avec M. Goeppert, que la couleur noirâtre des schistes houillers est exclusivement due à des restes de plantes extrêmement ténus, tels que des cellules isolées, des spores, etc., mais encore à de la matière végétale apportée sous forme d'humus, comme en témoignent encore certaines argiles schisteuses noir jaunâtre. Il existe des terres ligniteuses imprégnées d'humus, qui rendent bien compte de la dissolution et de la division dans lesquelles ont été mélangées les substances végétales des schistes noirs. Les plus foncés d'entre ceux-ci peuvent provenir de vase de marais, ceux privés de débris végétaux discernables, de vase d'étang noircie par une quasi-dissolution de matière végétale. Une eau blonde comme celle qui sort des tourbières ou des marais a suffi pour donner au limon durci la couleur sombre des schistes gris-brun.

Avec MM. Dawson et Bishhof, M. Grand'Eury croit que les matières noircissant les schistes ont été transportées, mélangées au besoin et déposées ensemble dans les aires du dépôt. On ne peut les attribuer à une distillation lente de la houille, bien que ce soit près de cette dernière que gisent le plus souvent les schistes les plus charbonneux, parce que, indépendamment des parcelles et des particules végétales qu'elles renferment dans toute la masse, ils sont uniformément pénétrés de substances charbonneuses; ils alternent d'ailleurs avec des lits ou des veines de roches

grises ou blanches, et des barres de schistes jaunes stratifient souvent la houille.

Jusqu'à un certain point, et quant à leur origine, les schistes noirs, par leurs matières organiques, représentent la houille, à laquelle on les voit souvent passer; les *splint-coal* terreux de l'Oural, compacts, à particules végétales très délayées et renfermant beaucoup de macrospores, rejoignent ces deux roches.

La houille amorphe est comme origine l'équivalent des schistes bitumineux.

De même que le boghead, les schistes bitumineux accompagnent souvent la houille à longue flamme et alternent avec les roches houillères. Ils sont non moins souvent en rapport avec les combustibles récents, par exemple à Steyerdorf, à côté du stipite, à Sarladais (Dordogne), près d'un lignite wealdien, à Manosque, au-dessus d'une série de lignites tertiaires. Ces combustibles leur sont équivalents. En effet, le lignite maigre schisteux de Manosque rappelle physiquement le schiste bitumineux. La houille de Buxières (Allier), à part des filets brillants, a le feuilleté du schiste bitumineux, la matière charbonneuse y est seulement plus concentrée; elle renferme des *Stigmaria* et passe à la houille. Un schiste très bitumineux du toit de la grande couche de Commentry est intermédiaire entre la houille mate de cet endroit et les schistes bitumineux d'Autun; il se rapproche de la houille de Bert, qui renferme aussi des écailles de poisson.

Ce n'est donc pas sans raison que Dufrénoy et Élie de Beaumont [1], ont considéré les couches de schiste bitumineux comme représentant des couches de houille. Aux environs d'Autun, ils alternent avec des schistes non bitumineux; les lits constitutifs des couches sont séparés par des colles ou des veines d'argile tout comme les lits de houille.

Il n'y a de végétaux en place dans la houille que des rhizomes interstratifiés de stigmaria.

Selon M. Grand'Eury, les écorces ne se trouvent pas dans la houille, disposées comme si les organes des plantes étaient tombés en ruine sur place, et ce que M. Dawson appelle la lamination du charbon n'est pas produit, comme il le veut, par la superposition de générations successives de troncs mous désorganisés, de feuilles tombées, de plantes herbacées et de racines, que la plus petite inondation ou même seulement les eaux de pluie auraient répandues en minces couches, parce que dans ce cas la houille serait traversée perpendiculairement ou au moins obliquement à la stratification, par des racines et des souches diverses.

Aucune des racines pivotantes qu'on observe au toit ou au mur de quelques couches n'a pénétré dans celles-ci, dans le charbon même.

Mais il y a beaucoup de *Stigmaria* aplatis et couchés dans les couches de charbon; de très petits lits de houille en paraissent entièrement formés, ou plutôt ne montrent que cette forme végétale dans les nombreux joints de stratification qui séparent la houille amorphe.

A cet égard, voici les observations que M. Grand'Eury a faites récemment en Pologne et en Westphalie :

En Westphalie, à Concordia, la houille, stratifiée par des filets nerveux comme celle de Saint-Etienne, présente de minces nerfs où courent des *Stigmaria* pourvus de radicelles; dans la couche Zollvercin, veines ternes avec *Stigmaria*; dans

1. Explication de la carte géologique.

la couche Hibernia, veines de schistes charbonneux renfermant du fusain et des macrospores, avec *Stigmaria* en place. Il y a des *Stigmaria* dans le charbon pur de Bochum, entre les grandes écorces aplaties de sigillaires. Dans le charbon de Shamrock, on voit intimement entremêlés, écorces, parcelle, fusain et *Stigmaria*.

Dans la Pologne russe, à Dombrowa, une grande couche de 10 à 15 mètres d'épaisseur, commence en bas par un banc de boghead charbonneux lourd, dit *Szyber*, qui n'est pas nettement séparé de nos schistes noirs à *Stigmaria;* dans ce banc, formé d'une vase végétale noire, apportée par les eaux, ont poussé des *Stigmaria*, d'abord isolés dans la partie inférieure, puis rapprochés et condensés dans des veines de houille plus claire situées au-dessus de telle manière qu'on pourrait croire toute la couche formée sur place; mais, quelque serrés qu'ils soient, à certains horizons, on remarque que ces rhizomes n'ont formé qu'une petite partie de charbon; une masse importante de la couche est composée de matières ligneuses délayées et de boues végétales, que stratifient quelques écorces et de nombreux filons parallèles de fusain; dans la partie supérieure de la couche, le charbon présente en outre une grande quantité de points bruns, qui sont des macrospores amenées pêle-mêle avec les substances végétales; au reste, dans cette partie il n'y a plus de *Stigmaria*. La houille de Khirzell, dans l'Oural, renfermant beaucoup de *Stigmaria*, dont quelques-uns ont pris racine dans les sillons les plus terreux, est, en partie notable, formée d'une pâte charbonneuse contenant beaucoup de paillettes de fusain.

A Sarrebrück, à Rive-de-Gier, les *Stigmaria*, toujours disposés dans le sens de la stratification, ne forment, comme en Westphalie, qu'une fraction infime de la houille, la centième partie tout au plus.

La plupart des *Stigmaria* dans la houille ont dû se déposer aplatis, avec ou sans racine, car ils n'ont pas oblitéré la stratification ni déterminé de glissements latéraux.

La plupart ont dû flotter et se développer à la surface de l'eau, avant d'aller s'interstratifier avec les écorces et les autres détritus végétaux transportés et tombés au fond de l'eau.

Le métamorphisme de la houille, dit M. Grand'Eury[1], s'est produit sous l'action d'une faible température. Les terrains de transition étant presque tous fortement métamorphisés, on croit qu'ils ont été soumis à une température notablement plus élevée que la température actuelle des roches, et que l'action de cette température a été égalisée par l'eau chaude comme véhicule. Or, comme on a lieu d'admettre que la chaleur terrestre a diminué constamment, et comme, d'un autre côté, on peut vérifier qu'en général les terrains sont de moins en moins métamorphisés en remontant la série, on est en droit de conclure que le degré de conversion en houille qui augmente avec l'âge du combustible est précisément en rapport avec le degré de métamorphisme des terrains. Par là on explique pourquoi les combustibles ne sont presque jamais à l'état de lignite dans le terrain houiller et à l'état de houille dans le culm.

Cependant la dureté des roches houillères est aussi souvent un effet de cimentation que de métamorphisme. Dans tous les cas, la chaleur, au degré d'action qu'elle

1. *Annales des mines*, 8e série, t. I, 2e livraison de 1882.

a pu avoir sur le terrain houiller, n'aurait pas rendu les roches très dures en l'absence de ciment.

Si nous nous reportons à la conservation des débris végétaux, nous voyons, en effet, que la température à laquelle a été soumis le terrain houiller n'a pu être élevée.

Cela dit, nous sommes bien forcé d'admettre que la chaleur souterraine a joué un rôle important, car lorsqu'on voit les couches de Roche-la-Molière devenir maigres du sud au nord aussi bien qu'en profondeur, le charbon très gras à Grand-Croix passer au charbon anthraciteux à Comberigole, le charbon de la 15[e] couche perdre 5 pour 100 de ses matières volatiles du puits Mars au puits Verpillon, distants de 400 mètres, la couche du Creusot donner du charbon gras à l'affleurement et de l'anthracite en profondeur, — on ne saurait disconvenir que cela ne provienne, au moins en grande partie, d'une répartition très inégale de la chaleur souterraine.

Le lignite miocène de Monte-Bamboli (Toscane) n'est devenu de la houille que par l'action persistante d'une température plus élevée que celle à laquelle a été soumis le terrain tertiaire en général.

Partout où règne la houille maigre à longue flamme, en Haute-Silésie, à Blanzy, dans l'Oural, les roches sont tendres et argileuses, et celles qui sont dures le doivent au ciment. En Russie, aux environs de Moscou où le métamorphisme a été presque nul, la houille est restée à l'état de lignite.

D'un autre côté, les roches sont plus dures là où le charbon est gras et maigre; et lorsqu'il devient anthraciteux, comme de la Combelle à Charbonnier (bassin de Brassac), les schistes prennent en même temps un aspect plus sec et un peu satiné qui les rapproche des schistes houillers des Alpes, lesquels ont incontestablement été soumis à l'action d'une certaine température.

Mais il ne s'ensuit pas que la chaleur, pour produire de grands effets, ait dû être très élevée : la matière végétale étant très impressionnable a pu se transformer à la longue très différemment sous des influences caloriques faibles et peu différentes, mais durables. M. Karpinsky assure en effet que dans le bassin houiller asiatique de l'Oural, dont les roches ne présentent pas de grands écarts de métamorphisme, au nord se trouve de l'anthracite, au centre de la houille sèche et au sud du graphite ou plutôt de la houille graphiteuse.

Une température un peu plus élevée que la température actuelle des roches a suffi pour activer la transformation dans une mesure notable.

On avait cru que la transformation du bois en lignite est un procédé excédant de beaucoup la durée des temps historiques, et dans le fait, les anciens pilotis et même les bois du diluvium sont généralement loin d'être aussi transformés que la variété la plus jeune du lignite xyloïde.

Cependant, dans une galerie du filon Dorothée[1], pouvant bien dater de quatre cents ans, on a découvert, sous les décombres, du bois de pin, devenu tendre et humide et qui, en durcissant à l'air, a donné un lignite brun à surface fibreuse, mais à cassure conchoïdale noire et brillante comme celle de certain lignite supratertiaire. M. Gœppert avait déjà signalé[2], dans les vieilles mines de Charlottenbrunn, des étais

1. *Ueber Umwandlung v. verstürfer Holzzimmerung Braun Kohlen*, etc.; par Hirchwald, 1873.
2. *Die Gattungen der fossilen Paflnzen*, p. 18.

changés en lignite résineux à traits brunâtres. M. Gruner a mentionné, comme on sait[1], un vieux bois de chêne de la mine de Littry (Calvados) qui, après un séjour d'un siècle dans la mine, à l'abri de l'air, a été rencontré converti en lignite fibreux.

Dans les tourbières anciennes quaternaires, le bois n'est pas encore transformé en lignite xyloïde. Par conséquent il faut admettre que les cas précités répondent à des circonstances particulièrement propices à la conversion du bois en lignite.

Or les circonstances dans lesquelles a été trouvé le bois ligniteux de la mine Dorothée indiquent une température constante, relativement assez élevée, une grande humidité, une assez forte pression des roches supérieures, et le non-accès de l'air.

Une température un peu élevée dans un terrain humide paraît donc devoir être très favorable à une conversion rapide en houille de la matière végétale enfouie.

Dans une expérience de M. Gœppert, des parties de plantes chauffées à 10° dans l'eau, sans accès d'air, se sont transformées, dans l'espace d'un an, en lignite xyloïde.

La houillification a d'abord marché rapidement sous l'action d'une température souterraine plus élevée qu'aujourd'hui.

On a trouvé non seulement dans le rothliegende des fragments de houille remaniée, mais, dans divers bassins houillers, des cailloux de charbon ne pouvant provenir que de couches inférieures déjà à moitié houillifiées lors de la formation des couches supérieures.

M. Grand'Eury a trouvé à Bézenet du gravier de houille dans le grès du puits des Ormes et, dans le toit de la grande couche de Commentry, des cailloux de 0m,01 à 0m,05 roulés à angles émoussés, non comprimés, de charbon stratifié, organisé, à poussière brune. Près de Swansea, dans le grès, avec des galets d'*ironstone* (fer carbonaté) se rencontrent souvent des cailloux de charbon; on a signalé dans le Monmouthshire des cailloux de cannel-coal.

Les véritables cailloux de Commentry proviennent d'une houille à moitié faite, et, qui plus est, très probablement de la couche inférieure du marais.

Il faut donc admettre que le progrès de la conversion en houille était rapide au commencement.

Avant l'enfouissement, certains débris détrempés étaient déjà à moitié changés en houille, dans les marécages où la matière végétale subissait une préparation favorable à sa transformation rapide, aussitôt enfouie et recouverte de limon.

M. Gœppert a admis, mais sans en donner de raison, que pendant leur formation même, les couches de houille parvenaient à une certaine solidité, et que la houillification a eu lieu dans un laps de temps beaucoup plus court que la lignification.

La pression exercée par le poids des roches a peu aidé au métamorphisme de la houille.

La pression, en rapprochant les parties, facilite les phénomènes lents de la transformation. Forchhammer, Gœppert et Lafard ont reconnu en effet que la pression favorise beaucoup la formation de la tourbe parfaite en activant la pourriture des herbes. D'un autre côté, M. Baroulier a constaté que pour former artificiellement de la houille grasse sans chaleur, il faut plus de pression que pour la houille à gaz.

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, XXVI, 102.

Mais de là à avoir changé le produit de la conversion, il y a loin, et M. Grand'Eury ne croit pas possible d'admettre, comme M. Perzholdt a cru pouvoir l'induire de ses expériences, que la pression des roches ait joué un rôle important dans le métamorphisme des houilles. D'abord, au point de vue du rapprochement des parties par la pression, on peut remarquer que les empreintes isolées dans les schistes sont transformées comme celles qui contribuent à former la houille. Et puis, dans une petite étendue de bassin houiller, à Montrambert par exemple, le charbon est approximatimativement le même aux affleurements qu'à une grande profondeur, en des points où, par suite, la pression des roches a différé totalement. A Commentry, tout au contraire, l'amaigrissement est rapide, des couches supérieures aux couches inférieures. Il faut toujours en rabattre beaucoup de l'influence de la pression des roches, que l'on croit universellement avoir été considérable sur les résultats de la conversion de la houille.

Il faut noter ce fait curieux, que non seulement près du jour, mais même en profondeur, certaines enveloppes charbonneuses de tiges gisant dans les roches, pétillent au feu sans se fondre et sans donner de flamme, alors que tout à côté la houille est grasse et que les veines brillantes de cette houille, représentant les mêmes écorces, sont grasses aussi.

Il est à remarquer que, toutes choses égales d'ailleurs, la houille d'empreintes est grasse dans les schistes, et d'autant plus maigre qu'elle est plus brillante dans le grès. Il y a donc eu une influence de milieu qui paraît avoir consisté dans la plus ou moins grande difficulté opposée, par la compacité des roches, à l'échappement des produits fluides de la conversion en houille.

On comprend que cette difficulté a remplacé la pression des expériences.

L'isolement des écorces dans les grès les a mises dans le cas où la houille perd librement ses principes volatils.

Une grande épaisseur de roches imbibées d'eau, en retenant ces principes, a dû réagir sur la transformation. C'est elle, en tout cas, qui empêche le grisou de s'échapper des parties profondes des couches.

Des failles séparent des régions métamorphisées différemment, et il y a des relations entre le métamorphisme et les dislocations de terrain, mais cela n'est pas constant.

A Saint-Étienne, le charbon n'a pas la même nature, non seulement dans les différentes parties du bassin, mais parfois d'un côté à l'autre d'un même grand accident. Au nord de la faille du Moustiel, la houille est tout à coup maigre; d'un côté de la faille de la République, au Gros, le charbon de la quinzième couche est plus gras que de l'autre côté, à Méons, le charbon de la treizième couche. A Blanzy, c'est à partir d'une faille que le charbon, de maigre flambant, devient anthraciteux flambant. Mais la nature de la houille n'est pas changée par la plupart des accidents qui rejettent les couches.

M. Rogers a fait remarquer qu'en Pensylvanie le charbon est anthraciteux là où le terrain est bouleversé, et bitumineux ailleurs. A cela, de la Bèche a répondu que cette règle ne se vérifie pas dans le sud du pays de Galles et le sud-ouest de l'Angleterre, où le charbon est anthraciteux là où le terrain n'est pas plus déchiré qu'aux endroits où l'on exploite la houille grasse; le contraire existerait même. Si donc, le métamorphisme est dû à des actions mécaniques s'étant exercées dans la

masse du terrain qu'elles ont échauffé, il faut croire que dans le sud du pays de Galles le travail mis en jeu s'est transformé en déformations de strates encore molles et, par suite, dans lesquelles le déplacement moléculaire n'engendrait presque pas de chaleur.

Il reste un fait qui domine par sa généralité, c'est que le métamorphisme augmente en profondeur, non comme cote actuelle, mais en profondeur en quelque sorte géologique, c'est-à-dire en âge, puisque à l'affleurement, le métamorphisme, des couches est le même que plus bas; ce fait paraît dû à l'action d'une plus haute température souterraine s'étant exercée dès le début; les grandes failles, comme celles du Breuil, déterminaient une répartition inégale de la chaleur dans les masses; à même profondeur, la température était loin d'être égale, elle était plus forte vers le bord nord que sur le bord sud à Saint-Étienne.

Observation de M. Gümbel. — On vient de voir que plusieurs auteurs, notamment M. Grand'Eury, ont insisté sur ce fait que d'ordinaire les couches de houille sont composées de lits alternants, habituellement peu épais, de charbon brillant et de charbon mat, dans lesquels sont fréquemment noyés des fragments de fusain plus ou moins volumineux. Le charbon brillant se distingue comme celui qu'on rencontre dans les couches de combustibles plus récents, parce qu'il se clive suivant divers plans inclinés sur la stratification; ces clivages ne se prolongent pas habituellement à travers le charbon mat.

Or, d'après M. Gümbel, il faut, en général, étudier séparément ces deux variétés de houille, car, d'ordinaire, elles se comportent très différemment vis-à-vis des réactifs chimiques; l'acide azotique et le chlorate de potasse attaquent assez énergiquement le charbon brillant en se colorant en brun foncé, tandis que, pour le charbon mat, l'action est beaucoup moins vive et que la liqueur ne se colore qu'en brun beaucoup moins foncé ou seulement en jaune.

Le charbon brillant est habituellement formé d'une masse brun foncé qui, même en esquilles minces, ne présente aucune trace discernable d'organisation; mais traitée par le réactif oxydant, puis par l'alcool, elle se montre composée de tissus végétaux de natures diverses. On y reconnaît principalement des cellules parenchymateuses comme celles qui entrent dans la constitution des écorces, puis des tissus ligneux, des débris de feuilles et enfin des membranes sphériques qui représentent probablement des spores. Il est très rare de ne pas trouver dans ces charbons une grande quantité de particules végétales à structure visible; mais on ne peut pas toujours, d'autre part, s'assurer positivement que toute la masse du charbon soit organisée; il est probable que le plus souvent il entre dans sa composition une substance charbonneuse réellement amorphe, plus ou moins analogue au dopplérite.

Les recherches de M. Gümbel sur les houilles ont porté sur des échantillons appartenant à un grand nombre de variétés et provenant de divers étages du terrain houiller et de localités très variées du bassin de Sarrebrück, principalement de Westphalie, de Saxe, du bassin de Pilsen, de la Russie méridionale, de l'Angleterre, de l'Amérique du Nord, de la Tasmanie.

Opinion et expériences de M. Fayol. — Dans un très important mémoire,

M. Fayol rappelle[1] qu'il y a presque dans toutes les houilles, des zones lenticulaires brillantes, alternant avec des zones lenticulaires plus ou moins ternes. Les lentilles brillantes, qui sont ordinairement les plus pures et les plus friables, ont une épaisseur variable qui peut atteindre plusieurs centimètres.

Parmi ces lentilles brillantes, quelques-unes présentent des traces très nettes d'organisation, facilement visibles à l'œil nu. L'auteur a présenté à cet égard de très éloquents échantillons qui proviennent des houillères de Commentry et de Montvicq, où il est facile d'en recueillir des centaines. Les autres bassins houillers en fournissent également.

L'auteur a d'abord remarqué la houille à structure conservée sur des végétaux isolés dont les caractères extérieurs permettaient une détermination certaine; puis il a trouvé des lentilles brillantes organisées au milieu de la houille des différentes couches, surtout dans les parties schisteuses; mais on en rencontre aussi au milieu des charbons les plus purs.



Fig. 40. — Aspect d'une lentille de houille à structure conservée (grandeur naturelle). D'après M. Fayol.



Fig. 41. — Aspect d'une lentille de houille à structure conservée (grandeur naturelle). D'après M. Fayol.

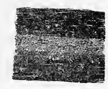


Fig. 42. — Portion de houille à structure conservée (grandeur naturelle). — D'après M. Fayol.

Les figures 40, 41 et 42 montrent l'aspect sous lequel se présentent le plus fréquemment les lentilles à structure conservée. Sur certains échantillons, les

1. Fayol. *Société de l'industrie minérale.* District du centre. Montluçon, 1883.

rayures et les ponctuations sont aussi accusées que sur ces figures, et l'on voit parfois des alternances de lentilles rayées et de lentilles ponctuées se répétant plusieurs fois sur des morceaux de charbon de 8 à 10 centimètres d'épaisseur.

Ce qui rend ces lentilles organiques intéressantes, c'est : 1° que l'on peut facilement déterminer le végétal dont elles proviennent; 2° que l'observation au microscope permet de découvrir dans ces lentilles tous les éléments anatomiques, cellules, fibres, trachées, etc., qu'il fallait chercher jusqu'à présent dans de rares échantillons silicifiés ou carbonatés; 3° qu'il découle de la présence et de l'abondance de ces lentilles organisées dans la houille, des conséquences très importantes, au point de vue du mode de formation des terrains houillers.

On se trouve donc en présence d'une inépuisable mine de matériaux destinée à faciliter l'étude de la flore houillère et du mode de formation de la houille.

On en jugera par la description, destinée à acquérir un intérêt historique par ce que c'est la première du genre, que M. Fayol donne, avec l'appui de M. Renault, des diverses grandes catégories de lentilles organisées qu'il n'hésite pas à rapporter les unes aux calamodendrées, les autres aux fougères.

La figure 43 représente la structure des calamodendrons.

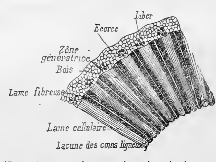


Fig. 43. — Structure du tronc des calamodendrons, d'après M. Renault.

Sous l'écorce *e* le tronc se présente en lames verticales rayonnantes; le bois *a* alterne avec des lames fibreuses *b*. Au milieu de ces dernières se trouve un mince plan de séparation cellulaire *c*. L'axe du tronc était vide ou occupé par une moelle légère.

Le tronc représenté figure 44, bien défini par les empreintes des moules externe et interne, se compose d'une partie externe en houille brillante à structure conservée *e* et d'un moule interne argileux *i*; l'écorce a disparu. Ce tronc provient du terrain houiller de Commentry; il est un peu aplati et montre les effets de l'aplatissement sur les rayons du bois.

Parmi les nombreux troncs de fougères que M. Fayol a recueillis, et dont les caractères extérieurs rendent la détermination facile, il en est dont les racines adventives présentent tous les passages possibles, depuis la pétrification complète sans trace de houille jusqu'à la houillification parfaite sans trace de matière terreuse. La figure 45 est une coupe de l'un de ces troncs où l'on voit le faisceau des racines adventives entourant un moule argileux. Les racines se présentent sous

forme de tubes de houille serrés les uns contre les autres, renfermant un petit cylindre terreux. Sur certains points le tube de houille est très mince et le remplissage épais; sur d'autres le remplissage terreux est à peine marqué et le remplissage devient compact.

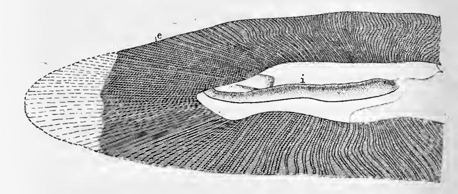


Fig. 44. — Tronc de calamodendron entièrement constitué par de la houille organée (grandeur naturelle). D'après M. Fayol.

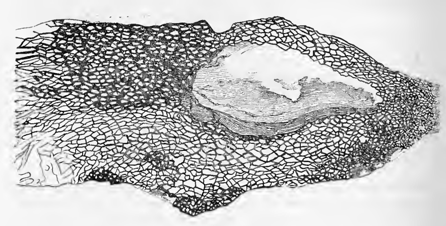


Fig. 45. — Tronc houillifié de fougère de Commentry (grandeur naturelle). D'après M. Fayol.

Le terrain houiller de Commentry est d'origine lacustre.

Pour étudier les lois qui président à la formation des dépôts de ce genre, M. Fayol[1] a entrepris une série de très intéressantes expériences auxquelles il nous a été donné d'assister en partie.

Un bassin à niveau constant reçoit un cours d'eau dans lequel on a jeté les matières qui doivent constituer le dépôt. Ces matières sont des galets, du sable, de l'argile, de la houille, des végétaux, etc.; les végétaux ont subi une immersion préalable assez longue pour qu'ils s'enfoncent immédiatement dans l'eau tranquille.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences.* Séance du 30 mai 1881.

Les expériences, très nombreuses, ont été faites dans des bassins dont la contenance va de 60 000 mètres cubes à $\frac{1}{20}$ de mètre cube ; l'auteur a fait varier aussi la forme des bassins, le volume du cours d'eau, la proportion, la nature et la grosseur des matériaux, la durée de l'opération, etc. ; il a même cherché à miter les vagues de la mer en imprimant aux bassins un mouvement d'oscillation.

Quelles que soient les dimensions du bassin dans lequel la sédimentation s'est opérée, les dépôts ont entre eux beaucoup d'analogie lorsqu'ils se sont formés dans des conditions semblables.

Dans l'eau dormante, les sédiments forment un delta qui se compose de deux parties : l'une extérieure, déposée par le cours d'eau sur son lit ou sur ses rives, hors du bassin; l'autre, immergée. La partie extérieure, qu'on peut appeler *fluviatile*, s'épaissit par couches à peu près horizontales et s'étend à mesure que progresse le delta. Quant à la partie immergée, qui est généralement de beaucoup la plus importante, voici comment elle se constitue :

Arrivés au bord du bassin, les éléments denses et grossiers tombent les uns sur les autres, en prenant une assez forte inclinaison, qui peut s'élever jusqu'à 40°; les éléments plus ténus ou plus légers vont plus loin, avec une pente de plus en plus faible. A mesure qu'on s'éloigne de l'embouchure du cours d'eau, le dépôt est moins incliné et les éléments grossiers font place au sable plus fin, puis à l'argile et aux végétaux.

L'ensemble du dépôt se compose de bancs distincts, nettement *stratifiés*. Cela tient surtout à la mobilité du courant, qui se divise ou se déplace constamment; à chaque déplacement, des particules ténues ou des végétaux prennent la place d'éléments grossiers, ou réciproquement, et les strates s'accentuent.

Parmi les végétaux, une partie se dissémine dans les bancs multiples de sable et d'argile, où, à part quelques tiges fixées normalement, on les trouve généralement couchés suivant le plan de stratification; mais la plus grande partie des végétaux s'amoncelle plus loin en une *couche unique*, dont l'épaisseur s'accroît jusqu'au moment où, par suite des progrès du delta, les argiles viennent la recouvrir. A partir de ce moment, si les conditions du charriage ne se modifient pas, la couche de végétaux continue à s'étendre en conservant une épaisseur constante.

Dans ces conditions, les bancs de la partie supérieure du bassin perdent peu à peu leur puissance et leur inclinaison et, changeant de nature, se *rapprochent de la couche de végétaux et disparaissent* successivement au contact de cette couche.

Un accroissement momentané du cours d'eau peut entraîner sur les végétaux un lit d'argile ou de sable. Lorsque le courant reprend ensuite son régime ordinaire, de nouveaux végétaux recouvrent ce lit, qui constitue une intercalation dans la couche. L'intercalation peut être très étendue et traverser entièrement la couche de végétaux ; elle peut aussi être restreinte, et si les changements dans le régime des eaux sont fréquents, on a un enchevêtrement de couches qui produit l'alternance en coins.

Si, après s'être accru, le courant ne revient à son ancien régime que lorsqu'il a déposé sur les végétaux, une puissante assise minérale, sur cette assise les végétaux formeront une couche nouvelle, qui tantôt se raccordera avec la première et tantôt en restera distincte. Ainsi peuvent se former des *couches multiples* ou des *ramifications* d'une même couche.

A mesure que le delta s'étend, la partie supérieure du dépôt vient charger les couches inférieures, composées d'argile plastique et de végétaux incomplètement tassés. Il en résulte des déformations variées : glissements, étirements, ondulations, brouillons, ruptures de bancs, etc. Le dépôt se continuant toujours, les parties déformées sont ensuite recouvertes de bancs qui ne portent aucune trace d'accident.

Tels sont les principaux caractères des dépôts en eau tranquille.

On peut reproduire ainsi artificiellement la série complète des dépôts lacustres que présente la nature, et qui se relient d'un côté aux dépôts fluviatiles, de l'autre aux formations marines.

Dans un bassin relativement peu profond, où l'eau est animée d'un mouvement de translation sensible, les couches deviennent allongées, discontinues, irrégulières et presque horizontales, comme dans les dépôts de rivière. Si les eaux du bassin sont agitées par un mouvement de flux et de reflux qui vient remanier les matériaux apportés par le courant, il se forme des couches faiblement inclinées, étendues et régulières, semblables aux couches des dépôts marins.

Il est un détail des gisements houillers qui a fourni des arguments très forts à la théorie de la formation sur place. Il s'agit des troncs fossiles dans la situation verticale. Déjà il y a bien longtemps Alex. Brongniart a signalé la présence de troncs verticaux dans les grès associés à la houille dans la mine du Treuil, près Saint-Etienne (fig. 46). Depuis lors le même fait a été retrouvé dans une foule

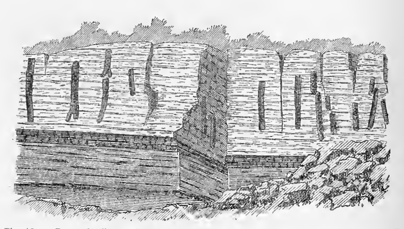


Fig. 46. — Troncs fossiles verticaux dans les grès associés à la houille dans la mine de Treuil, près Saint-Etienne (Loire). D'après Brongniart.

innombrable de localités. La figure 47 montre la situation d'une sigillaire verticale des mines d'Anzin. M. H. C. Sorby[1] a décrit un gisement du Yorkshire méridional où le grès houiller contient une dizaine de troncs de sigillaires dans leur position naturelle avec leurs racines adhérentes, en forme de stigmaria. Ces arbres ont crû sur un sol aujourd'hui formé par un schiste argilo-terreux. Les plus petits ont quatre racines, les plus grands en ont huit. L'auteur, en discutant la position

1. *Geological Society*, 23 avril 1875.

de ces racines, par analogie avec ce qui se passe pour les végétaux actuels, en conclut qu'à l'époque houillère le vent dominant dans la région était le vent d'ouest.

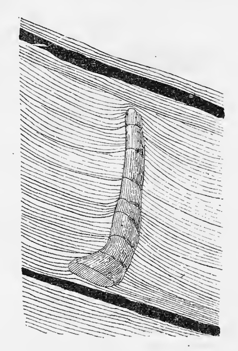


Fig. 47. — Tronc vertical de sigillaire dans les mines d'Anzin. D'après Elie de Beaumont et Dufrenoy.

Il faut du reste ajouter que des troncs verticaux ou, plus exactement, *perpendiculaires aux couches,* se rencontrent dans des terrains d'âges fort différents. La

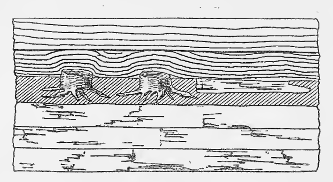


Fig. 48. — Coupe prise dans la forêt fossile de Portland.

figure 48 montre une coupe prise dans la *forêt de Portland,* qui dépend du terrain crétacé le plus inférieur (Weald). Parfois les couches à troncs perpendiculaires

ont été inclinées depuis leur dépôt : la figure 49 en est un exemple emprunté à la falaise de Lulworth-Cove (Dorsetshire).

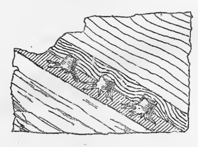


Fig. 49. — Couches inclinées avec troncs fossiles perpendiculaires. Exemples pris dans le Dorsetshire.

Jusque dans ces derniers temps il était généralement admis que les troncs d'arbres fossiles que l'on trouve *debout* dans le terrain houiller, c'est-à-dire perpendiculaires, ou à peu près, sur le plan de stratification des bancs qui les renferment ont été enveloppés de sédiments et fossilisés au lieu même de leur croissance.

M. Fayol[1] a observé un assez grand nombre d'arbres debout dans le bassin de Commentry, et sa conviction est que ces arbres avaient été charriés et déposés au fond des eaux, comme tous les autres éléments constitutifs du terrain houiller.

Parmi les gisements d'arbres debout de Commentry, le plus remarquable est celui du banc dit des *Roseaux*, dans lequel les troncs de calamododendrons et de psaronius sont assez nombreux pour simuler une forêt fossile. Ce banc intercalé dans la grande couche de houille s'étend sur une surface à peu près demi-circulaire de 1 kilomètre de rayon ; il a 2 mètres d'épaisseur dans la partie centrale et est constitué par du grès qui devient graduellement schisteux et charbonneux. Les arbres debout, qui sont le plus souvent des fragments de troncs sans branches ni racines, sont abondants dans la partie arénacée et très rares dans la partie schisto-charbonneuse; on n'en distingue aucune trace dans la houille, soit au-dessus, soit au-dessous du banc des Roseaux.

Autour des tiges, les strates sont fréquemment courbées et relevées comme pour former un cône dont l'axe serait sur l'axe même de la tige ; lorsqu'un arbre à racines descend jusqu'à la partie inférieure du banc, la houille est elle-même relevée et forme un dôme sous les racines.

Le banc des Roseaux renferme une quantité prodigieuse de végétaux variés. Les arbres debout, ainsi que de petits fragments de rameaux en position verticale, y sont partout associés à des arbres couchés, à des feuilles et à des fruits.

Un autre banc à arbres debout, se trouve dans la tranchée Saint-Edmond, à 21 mètres au-dessus du toit de la grande couche : c'est un grès grossier de $1^{m},50$ d'épaisseur, placé au milieu de grès plus fins. Il renferme des calamites debout de petite dimension.

Il est remarquable que les puissantes assises schisteuses qui constituent ordi-

1. Fayol. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 18 juillet 1881.

nairement le toit de la grande couche, et qui sont extrêmement riches en arbres couchés, ne renferment pas d'arbres debout.

On trouve au contraire des arbres debout au toit des petites couches n° 2, n° 5 et n° 6, mais seulement sur les points où ce toit est de grès; dans les parties schisteuses, il n'y a que des arbres couchés.

Des fragments de troncs de sigillaires, dont quelques-uns avaient de 0m,80 à 1 mètre de diamètre, ont été rencontrés dans les poudingues à gros éléments de la tranchée de l'Espérance; ils n'avaient ni branches ni racines.

On voit que les arbres *debout* du terrain houiller de Commentry sont ordinairement dans les grès, quelquefois dans les poudingues, rarement dans les schistes; on n'en a pas encore rencontré dans les couches de houille. Les arbres *couchés* sont au contraire extrêmement nombreux dans les schistes, peu abondants dans les grès et rares dans les poudingues; dans certaines parties des couches de houille on en distingue des traces nombreuses. On peut dire que les arbres couchés discernables sont cent fois plus nombreux que les arbres debout; on trouve presque partout des arbres couchés, tandis que les arbres debout n'existent que sur quelques points exceptionnels. Les tiges debout sont souvent dépourvues de branches et de racines. Enfin l'on a fréquemment vu le relèvement des strates autour de ces tiges.

Ces divers faits s'expliquent facilement par le charriage.

En jetant dans l'eau une fougère commune, récemment arrachée, de 1 mètre à 2 mètres de hauteur, portant à son sommet quelques feuilles vertes, on la voit d'abord prendre la position verticale et rester en suspension la racine en bas; puis elle s'enfonce jusqu'au fond du bassin où elle reste encore debout pendant un certain temps; enfin elle se couche. Chacune des deux premières phases dure, selon l'état du végétal, de quelques heures à quelques jours.

Si l'on abandonne des fougères semblables dans un courant d'eau chargé de sédiments minéraux, comme celui qui porte les schlamms résultant du lavage de nos houilles dans un bassin de dépôt (dont la contenance est de 350 mètres carrés) on retrouve ces fougères dans le dépôt, les unes fixées plus ou moins normalement aux strates dans les veines grenues, les autres couchées suivant le plan de stratification dans les veines boueuses.

Des fougères sèches ou des feuilles vertes isolées ne prennent pas la position verticale.

La courbure des strates se produit autour des piquets simulant des troncs d'arbres qu'on a eu soin de fixer au milieu du bassin; les strates formées en eau tranquille et profonde sont relevées; celles qui se sont déposées en eaux courantes et superficielles sont, au contraire, abaissées et disposées en entonnoir autour du piquet.

Avec leurs racines denses et fermes, leur longue tige à tissu central lâche et leur sommet couronné d'une ombrelle de grandes feuilles légères, la plupart des arbres de l'époque houillère devaient se comporter dans l'eau comme les fougères dont je viens de parler; seulement la durée des phases de suspension et d'immersion en position verticale devait être beaucoup plus longue.

Charriés par les eaux jusque dans un lac ou dans un estuaire, ces arbres devaient, selon leur état, ou surnager encore un certain temps ou descendre immédiatement au fond de l'eau. Si une inondation, ou l'un de ces déplacements de

lit si fréquents à l'embouchure des fleuves à delta venait à charrier en même temps et des arbres verts et des sédiments minéraux, un certain nombre de troncs pouvait s'immerger debout et être entouré d'un dépôt consistant, de sable par exemple, qui les fixait dans leur position d'une manière définitive; mais, si le dépôt se formait lentement ou s'il était sans consistance, comme de la boue ou des feuilles, rien n'empêchait l'arbre debout de se coucher lorsque le moment en était venu, c'est-à-dire lorsque, par l'effet de l'imbibition, toutes ses parties avaient une densité supérieure à celle de l'eau.

On comprend ainsi pourquoi le banc des *Roseaux* renferme beaucoup d'arbres debout dans sa partie arénacée et seulement des végétaux couchés dans sa partie schisto-charbonneuse. On conçoit aussi pourquoi les arbres debout sont si rares dans les couches de houille et dans les assises schisteuses du toit de la grande couche; ces dépôts, continués d'abord par des végétaux et du limon boueux, ne pouvaient retenir les arbres en position verticale.

La simplicité avec laquelle on explique par la théorie du charriage les gisements d'arbres debout et les diverses particularités qui s'y rattachent est un argument de plus en faveur de cette théorie, qui rend si bien compte de la disposition des couches des terrains houillers lacustres.

M. Fayol[1] conclut de ses expériences aussi bien que de ses observations que tous les matériaux qui constituent le terrain houiller de Commentry, ont été charriés par les eaux et déposés dans un lac profond pendant une période géologique tranquille.

Suivant ce mode de formation que l'on pourrait appeler *charriage sans affaissements généraux du sol*, les couches de houille auraient été formées, comme les autres sédiments du terrain houiller, par voie de transport. On ne peut guère, d'ailleurs, attribuer à ces couches une origine différente, car elles se relient aux schistes et aux grès par des transitions insensibles, il serait difficile, en effet, de dire à quel moment le banc des Chavais, qui passe graduellement des poudingues au grès, au schiste et à la houille, constitue une couche de houille; de même il serait difficile de préciser où finit la houille et où commence le schiste, en présence d'une série de couches dans lesquelles la proportion des cendres irait en augmentant depuis 2 ou 3 pour 100 jusqu'à 80 ou 90 pour 100.

La théorie du charriage sans affaissements est donc conforme aux faits actuels et rend bien compte de la constitution du terrain houiller de Commentry, tandis que la théorie de l'horizontalité primitive des dépôts avec affaissements généraux du sol est en désaccord aussi bien avec les faits actuels qu'avec les formations anciennes. Elle repose d'ailleurs, selon l'auteur, sur deux hypothèses inapplicables aux terrains lacustres.

Examinons avec lui ces hypothèses :

Selon la première hypothèse, les *couches de sédiment se seraient déposées dans une position horizontale, et toutes celles que l'on trouve inclinées sous des angles un peu prononcés auraient été relevées par une action postérieure.*

Pour établir l'*horizontalité primitive* des dépôts, on s'appuie sur la disposition des galets, qui, dans les grès et poudingues ont généralement le plan de leurs

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 20 juin 1881.

deux plus grands axes parallèles au plan de stratification; mais cette disposition, les galets la prennent, même dans les couches qui se forment sous une inclinaison de 30° à 40°. On s'appuie aussi sur l'existence, à divers niveaux du terrain houiller, de troncs d'arbres fossiles perpendiculaires aux plans de stratification. L'observation attentive de ces fossiles et de nombreuses expériences, ont prouvé qu'en général ces arbres ont été charriés comme les sédiments au milieu desquels ils se trouvent.

Dans la seconde hypothèse, on suppose que le *sol, à l'époque houillère aurait été soumis à de grands mouvements oscillatoires. Ce serait pendant les périodes de stabilité que les végétaux se seraient accumulés, soit au lieu même de leur croissance, soit dans les basses eaux où un courant les portait; puis, grâce aux affaissements, les couches de végétaux auraient été recouvertes de détritus minéraux.*

Cette hypothèse ne résiste pas non plus à l'examen. En effet, les grands mouvements oscillatoires ne peuvent pas produire des dépressions semblables à celle qui a été comblée par le terrain houiller de Commentry; la dépression existait donc préalablement et a dû se remplir par couches inclinées, à l'embouchure des cours d'eau, et non par couches horizontales ayant toute l'étendue du bassin, et ce mode de sédimentation n'a pas pu être modifié par de grands affaissements généraux contemporains, mouvements dont on n'a d'ailleurs aucune preuve.

On voit que rien n'oblige à admettre la théorie de l'horizontalité primitive des dépôts avec affaissements généraux du sol. Ajoutons que cette théorie, non seulement ne fournit pas d'explication plausible pour la plupart des particularités du terrain houiller de Commentry, mais qu'elle est en opposition absolue avec quelques-unes de ces particularités, comme la convergence des bancs supérieurs vers les couches de houille ou les barres traversant obliquement la grande couche, du mur au toit.

En partant de cette théorie, on a cherché à expliquer les *ramifications*, des couches de houille, en supposant que chaque branche, après sa formation, avait tourné autour de sa ligne de raccordement comme autour d'une charnière; mais c'est faire un véritable abus de cataclysmes que d'invoquer un tel mouvement pour chacune des huit grandes ramifications et pour les nombreuses petites ramifications de la grande couche.

Il est naturel d'admettre le charriage sans affaissements.

De grands intérêts industriels sont attachés à une connaissance exacte de la théorie de la formation des terrains houillers. La direction des travaux de recherche en dépend évidemment. Dans l'hypothèse de l'horizontalité primitive des dépôts avec affaissements du sol, on admet pour les terrains lacustres : 1° que toutes les couches ont été parallèles entre elles; 2° que le terrain houiller conserve ses principaux caractères dans toute l'étendue du bassin; 3° que des bancs placés à égale distance d'un horizon sont contemporains; 4° que l'épaisseur totale d'une formation est égale à la somme des épaisseurs de tous les bancs existant dans cette formation, etc. Dans l'hypothèse du charriage sans affaissements, on admet au contraire pour ces mêmes terrains : 1° que la sédimentation n'a pas formé de couches parallèles, mais convergentes; 2° que les diverses parties d'un bassin doivent beaucoup différer entre elles; 3° que le synchronisme n'existe pas, au moins sur de grands espaces, pour des bancs placés à égale distance d'un horizon, par exemple

pour des bancs situés à la même hauteur au-dessus de la base du terrain houiller; 4° qu'il n'y a rien de commun entre la somme des épaisseurs des bancs d'un terrain houiller et la profondeur du bassin, etc.

« Si, comme je le crois, conclut M. Fayol, cette dernière hypothèse est seule vraie, on comprend que les chercheurs de houille qui s'appuyaient sur l'horizontalité primitive des dépôts avec affaissements du sol aient éprouvé dans le centre de la France, de nombreuses déceptions, compensées quelquefois, il est vrai, par des découvertes imprévues. »

Dans un autre ensemble de recherches, M. Fayol[1] fait encore remarquer à l'appui de ce qui précède que le terrain houiller de Commentry présente, dans son ensemble, comme dans ses détails, de nombreuses particularités qui ne peuvent s'expliquer d'une manière plausible par la théorie généralement admise de l'horizontalité primitive des dépôts avec affaissements successifs du sol.

Isolé au milieu de roches granitiques, le bassin de Commentry a la forme d'un long ovale irrégulier; sa surface est de 26 kilomètres carrés.

Des grès, des poudingues et des conglomérats, à blocs parfois énormes, forment la majeure partie du terrain houiller : les schistes n'y entrent que pour un dixième environ, et la houille à peine pour un centième.

Les bancs, généralement disposés en demi-cuvettes, ont des directions et des inclinaisons très variables. Leur épaisseur totale s'élève jusqu'à 800 mètres en quelques points du bassin.

Les fossiles végétaux sont très abondants; il y a beaucoup de troncs d'arbres couchés, quelques-uns inclinés ou perpendiculaires sur le plan de stratification. Il y a aussi plusieurs espèces de poissons et une grande variété d'insectes.

La partie supérieure du terrain houiller est stérile; elle se compose presque uniquement de grès et de poudingues sur plusieurs centaines de mètres d'épaisseur.

A la base du terrain houiller, le long de la lisière septentrionale, on trouve presque partout les traces d'un gisement d'anthracite très irrégulier, qui, sur quelques points, repose directement sur le terrain primitif. Il existe à l'ouest, à peu de distance au-dessus de l'anthracite, un amas de houille ligniteuse.

C'est dans la partie médiane du bassin que se trouve la plus grande accumulation de houille (houille demi-grasse, à longue flamme). A l'est, on rencontre une couche, d'abord très mince, qui se renfle peu à peu, et de laquelle se détachent successivement un grand nombre de ramifications, dont huit constituent à l'ouest des couches exploitables. Ces ramifications vont en s'écartant les unes des autres (au point où elles cessent d'être exploitables, il y a 700 mètres de distance entre les affleurements extrêmes); puis elles disparaissent, soit en s'amincissant, soit en passant graduellement au schiste.

Les couches de houille de Commentry sont très irrégulières. La couche principale, désignée sous le nom de grande couche, a une épaisseur variant de 0 à 30 mètres; dans leurs renflements, les autres couches dépassent rarement 5 mètres d'épaisseur.

L'une des ramifications, dite couche des grès noirs, se compose d'innombrables lentilles de houille pure, de toutes dimensions, depuis $\frac{1}{10}$ de millimètre jusqu'à

1. Fayol. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 16 mai 1881.

plusieurs mètres d'épaisseur ; ces lentilles, aux formes bizarres, sont disséminée dans toute la masse d'une formation de grès à grains moyens, dont la puissance varie de 10 mètres à 30 mètres.

En général la houille est d'autant plus pure que l'amas est plus puissant.

La réunion de huit couches en une seule plaque indique la disparition de tous les bancs intercalés. Cette disparition est graduelle et ordinairement accompagnée d'un changement dans la nature des bancs. Cela peut facilement se constater dans les tranchées creusées aux affleurements de la grande couche, qui ont 2 mètres de longueur et une profondeur de 20 mètres à 60 mètres. En certains points on voit, au toit de la grande couche, des grès et des schistes formant un faisceau de 30 à 40 mètres d'épaisseur, qui, sur une longueur de 300 mètres à 400 mètres s'amincissent en convergeant vers la couche et finissent par disparaître entièrement. En général, chacun des bancs du faisceau se comporte comme le faisceau lui-même : il se rapproche de la couche; en même temps, son grain devient de plus en plus fin et sa puissance diminue; enfin il se perd au milieu des minces feuillets de schiste et de houille qui constituent ordinairement la partie supérieure de la grande couche.

Sur d'autres points des branches, les grès et les schistes du toit paraissent parallèles à la couche; leur section est lenticulaire; le grain va en diminuant de grosseur du centre aux extrémités. Dans ce cas, le parallélisme n'est qu'apparent; en profondeur, ces bases se rapprochent de la grande couche.

Le changement de nature des bancs est un fait général à Commentry. En voici un exemple remarquable : vers le puits Forêt, la grande couche est divisée en deux parties par un banc dit banc des Chavais auquel nous avons déjà fait allusion et qui a pu être étudié minutieusement. Ce banc s'étend sur environ 800 mètres en direction et 600 mètres suivant l'inclinaison en son milieu. Aux affleurements, il a 6 mètres d'épaisseur et renferme des galets de $0^m,50$ de diamètre. A mesure que l'on s'écarte de ce point, on voit les galets diminuer de grosseur; en même temps le banc s'amincit et devient de plus en plus charbonneux en profondeur, il finit par se transformer en une veine de houille pure de $0^m,50$ de puissance, qui se confond avec la houille de la grande couche.

Il existe d'autres bancs stériles au milieu de la grande couche; presque tous subissent une transformation analogue à celle du banc des Chavais.

En général, les bancs de grès intercalés dans la grande couche n'ont pas exactement la direction de cette couche ; quelques-uns la traversent même entièrement et vont obliquement du mur au toit, sans que l'allure générale soit aucunement troublée. Parfois les intercalations ont peu d'étendue et, qu'elles viennent du toit ou qu'elles viennent du mur, elles s'enfoncent dans la couche comme un coin.

Le toit de la grande couche est formé par l'extrémité amincie des bancs supérieurs; ce n'est pas un plan net, uni, mais un horizon vague, mal déterminé, constitué ordinairement par des schistes charbonneux ou bitumineux, quelquefois par des grès ou même par des poudingues.

La base du terrain houiller est un autre horizon sur lequel les bancs sont de nature très variable; en contact avec le terrain granitique, on voit des poudingues, des grès, des schistes et même de l'anthracite. Les poudingues de la base du terrain

houiller ne sont pas partout constitués avec les mêmes éléments; ils sont exclusivement granitiques au nord-ouest, porphyriques à l'est.

On peut voir dans les tranchées, près de la grande couche, un grand nombre d'accidents, dont les bancs supérieurs ne portent nulle trace. Ce sont des plissements des brouillages et même des failles dont le rejet va jusqu'à 4 ou 5 mètres. Ces failles commencent au toit de la grande couche, produisent leur effet dans les bancs immédiatement superposés, et s'arrêtent plus haut, sous des bancs non dérangés.

Ces divers faits, qui paraissent singuliers et que l'on ne peut expliquer d'une manière plausible par la théorie régnante de « l'horizontalité primitive des dépôts avec affaissements successifs du sol », paraissent naturels, au contraire, et s'expliquent facilement si l'on admet que *tous les matériaux qui constituent le terrain houiller de Commentry ont été charriés par les eaux et déposés dans un lac profond pendant une période géologique tranquille.*

On peut d'ailleurs reproduire tous ces faits, au moyen d'expériences très simples qui confirment cette dernière hypothèse.

Observations complémentaires de M. Renault. — Des faits très importants au point de vue de la théorie concernent le volume composé de la houille et des végétaux générateurs. Il importe de nous y arrêter un moment.

Lorsque l'on réduit en lames minces et transparentes des fragments de houille pris au hasard, on ne distingue généralement, dans les préparations, aucune trace d'organisation végétale; parfois seulement quelques débris de tracheïdes rayées ou ponctuées, quelques groupes peu importants de cellules diverses apparaissent au milieu du charbon, devenu jaune brun en laissant tamiser la lumière. Il n'en est plus de même si l'on opère sur des fragments choisis à la loupe et présentant à leur surface, sous un éclairage convenable, des indices d'organisation; l'intérieur peut alors être soumis utilement à l'examen du microscope. La houille offrant ce caractère extérieur favorable se présente assez fréquemment sous forme de rognons, dans les couches un peu argileuses du combustible exploité; on peut même constater des bancs d'une notable épaisseur, dont chaque feuillet montre à sa surface des empreintes de feuilles diverses, des cicatrices de troncs de sigillaires, des lépidodendrons, etc.

Déjà M. Renault avait signalé [1] la structure conservée de certains fragments de jayet, trouvés dans les schistes de Polroy, près Autun, et celle des feuillets de cordaïtes de Saint-Étienne. Plus récemment, il a examiné de nombreux fragments de houille recueillis soit dans les couches mêmes exploitées, soit autour du moule interne de troncs variés; et, dans presque tous les cas, il a rencontré une structure conservée.

Parmi ces troncs, les uns se présentent couchés horizontalement ou inclinés, les autres debout. Tous possèdent une enveloppe de houille noire brillante, se conduisant avec les réactifs comme la houille ordinaire, et dont l'épaisseur, suivant les troncs, varie de 2 ou 3 millimètres, jusqu'à 5 et 6 centimètres.

Quelle que soit leur position, ils sont cimentés par un grès fin, argileux, blanc

1. Renault. Note lue à l'Académie des sciences, par M. Duchartre, dans la séance du 20 août 1883.

jaunâtre, non imprégné de houille ou de bitume, isolés les uns des autres et éloignés des veines de charbon en exploitation.

La houille qui les recouvre ne peut donc provenir d'une infiltration quelconque et résulte de la transformation même des tissus végétaux.

Des préparations microscopiques faites dans des directions choisies, montrent une conservation inespérée : le bois et l'écorce présentent encore la plupart de leurs éléments caractéristiques.

Grâce à cette conservation, l'auteur a pu rapprocher un certain nombre d'entre eux, de ceux que l'on rencontre à l'état silicifié mais fragmentaire, dans les gisement, d'Autun et de Saint-Étienne, et, par suite, compléter l'étude de ces derniers, par celle des troncs actuellement connus extérieurement sur une longueur de 8 à 10 mètres.

Un fait important découle de la comparaison des organes élémentaires des tissus suivant qu'ils sont transformés en houille, ou qu'ils sont conservés par la silice et le carbonate de fer : c'est celui de la diminution sur toutes leurs dimensions des éléments houillifiés.

En effet, sur une coupe transversale d'*Arthropitus bistriata* les tracheïdes se présentent serrées les unes contre les autres. Un mince filet plus clair qui les sépare permet de les distinguer sous un grossissement de deux cents diamètres. Sous la pression lente, mais continue des terrains d'alentour, les parois latérales, celles qui portent les ornements rayés, conséquemment plus résistantes, sont venues au contact et la cavité interne disparaissant, leur section actuelle est une ellipse aplatie, à contour sinueux.

Sur une coupe longitudinale radiale, c'est-à-dire faite dans le sens où la tracheïde offre maintenant la plus grande largeur, cette dimension atteint la moitié ou les deux tiers à peine de celle d'une tracheïde prise dans un échantillon silicifié ; en outre, sur une *même* longueur, le nombre des ornements rayés est dans le rapport de 3 à 2, la première tracheïde s'est donc raccourcie d'un tiers environ.

A l'état silicifié, les dimensions des tracheïdes sont sur une coupe transversale d'environ 0,045 de millimètre dans le sens du rayon, et 0,040 dans un sens tangentiel à la tige. La distance des raies sur les parois des tracheïdes est de 0,0085 de millimètre. Les cellules des rayons médullaires ont en hauteur 0,14, en largeur 0,045 et en épaisseur 0,03 de millimètre.

A l'état houillifié, la plus grande largeur des tracheïdes est de $0^{mm},025$ et leur épaisseur $0^{mm},012$; on sait que les tracheïdes houillifiées ont leurs parois en contact et que le vide intérieur a disparu sour la double influence de la diminution de volume des parois et de la compression extérieure.

La distance des raies est de $0^{mm},004$ à $0^{mm},005$.

Les cellules des rayons médullaires présentent en moyenne les dimensions suivantes : hauteur, $0^{mm},06$; largeur, $0^{mm},025$; épaisseur, $0^{mm},01$.

D'après ces données, la diminution de volume des éléments organiques (formés spécialement de cellulose ou d'un isomère) ont subi pour se changer en houille est de $^{11}/_{12}$ environ.

L'*Arthropitus gigas* (fig. 50, 51, 52 et 53) a fourni à M. Renault les résultats suivants :

Les trachéïdes silicifiées mesurent dans le sens radial $0^{mm},053$; dans le sens tan-

gentiel, $0^{mm},04$. La distance des *ponctuations* est de $0^{mm},014$. Les tracheïdes houillifiées offrent dans la même espèce les dimensions correspondantes $0^{mm},008$ et $0^{mm},026$. La distance des ponctuation est de $0^{mm},008$. La contraction des éléments est donc de $^{16}/_{17}$ environ dans l'*Arthropitus gigas*.



Fig. 50. — Coupe longitudinale d'un échantillon d'Arthropitus gigas houillifié, d'après M. Renault.

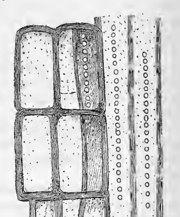


Fig. 51. — Coupe longitudinale d'un échantillon d'Arthropitus gigas silicifié, d'après M. Renault.



Fig. 52. — Coupe transversale d'un échantillon d'Arthropitus gigas houillifié, d'après M. Renault.

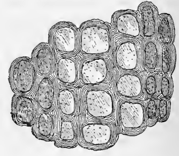


Fig. 53. — Coupe transversale d'un échantillon d'Arthropitus gigas silicifié, d'après M. Renault,

Dans un échantillon d'*Arthropitus dallica* de Saint-Étienne, dont une partie seulement du bois est carbonatée, l'autre s'étant houillifiée, les tracheïdes présentent dans cette dernière région, quatorze raies sur une longueur de un dixième de millimètre tandis que dans la portion carbonatée, on en compte dix seulement. La largeur des tracheïdes houillifiées est moitié de celle des autres.

Cette contraction de la matière est due sans doute à une transformation extrêmement lente opérée dans des conditions spéciales et indiquées encore aujourd'hui dans les houillères par les dégagements d'acide carbonique, d'hydrogène protocarboné, etc.

Dans tous les cas, il y a loin, comme on le voit, de ces mesures aux calculs d'Élie de Beaumont, qui supposait qu'une couche de bois sans insterstice changée en houille sans perte de carbone diminuerait d'épaisseur dans le rapport de 1 à 0,2288.

L'analyse chimique d'une houille provenant uniquement du système ligneux de *Cordaïtes* ou d'*Arthropitus* dans lequel on ne rencontre aucun organe sécréteur de la nature de celle produite par la partie subéreuse de l'écorce des sigillaires et des lépidodendrons, ou bien encore de celle qui résulte de l'agglomération de racines, serrées les unes contre les autres, de *Psaronius*, ne peut manquer d'offrir un grand intérêt si elle montre que la composition de la houille est liée à celle des éléments qui l'ont produite.

De ce qui précède, il résulte :

1° Que dans beaucoup de cas la houille ne peut provenir que de la transformation sur place des éléments qui constituent les végétaux ; 2° que le bois, aussi bien que l'écorce, a contribué à la formation de la houille ; 3° qu'en se houillifiant, les éléments organiques, cellules, tracheïdes, etc., ont diminué de grandeur, sur toutes leurs dimensions, dans un rapport que l'on peut déterminer.

Opinion de M. Durand. — Parmi les objections faites à la théorie de M. Fayol, il faut résumer celles que M. Durand a formulées, comme conclusions de son étude du bassin de Doyet[1].

Les couches exploitées à Doyet se sont d'après lui formées à une faible profondeur, dans l'eau, sinon hors de l'eau. M. Durand a recueilli à la houillère de Doyet un certain nombre de végétaux fossiles, parmi lesquels se font remarquer, comme plantes ayant été trouvées à l'endroit même où elles ont végété une calamite avec ses radicules, le bas d'une calamadendrée avec ses racines étagées, et un stigmariopsis.

La calamite était dans une assise de bancs de grès séparés par de petits lits de schistes argileux. L'auteur de la note a trouvé dans la même assise plusieurs autres fossiles semblables, ainsi que la tige cylindrique d'un syringodendron traversant un banc de grès grossier et reposant sur une souche de stigmariopsis aplatie et étalée, entre deux bancs de grès, dans un schiste argileux de 3 à 4 centimètres d'épaisseur. Ces grès et schistes sont immédiatement au-dessous d'une couche de mauvais charbon située assez haut dans le toit des couches exploitées à Doyet, et la calamite en question a été prise à 5 mètres au-dessous de ce charbon schisteux.

La calamodendrée a été abattue en faisant le relevage d'une galerie tracée dans le charbon de la couche inférieure. Elle était implantée dans un grès gris très fin passant au schiste, et devait arriver très près du charbon, si elle ne pénétrait pas dedans, ce dont M. Durand n'a pas pu s'assurer. Le toit immédiat de cette couche renferme aussi des syringodendrous aplatis, de grosses calamites couchées ou debout, ainsi que d'autres plantes fossiles diverses.

Quant au stigmariopsis, il provient d'une galerie d'avancement dans la couche intermédiaire ; il était dans un grès fin et barré de l'entre-deux de cette couche.

1. Note de M. Durand, Société de l'industrie minérale, district du centre, procès-verbal de la séance tenue à Montluçon, le 6 mai 1881.

Ces trois fossiles sont encore entourés d'une partie de la roche à laquelle ils adhéraient. La calamite est debout, traversant les strates du grès schisteux qui l'enveloppe. On voit ses racines porter des articulations et s'étendre, en ligne droite à travers la roche environnante. Quelques petites radicelles très minces s'embranchent même sur une de ces racines. « Si cette plante, dit l'auteur, avait été enlevée du sol où elle est née, pour être transportée au loin par les eaux, les radicules longues et minces n'auraient pas pu résister ; elles auraient été arrachées, brisées, ou au moins froissées et enchevêtrées les unes dans les autres ». On comprend qu'un arbre ayant de fortes racines pesantes d'un côté, et un branchage léger dans le haut, s'en aille, en eau profonde, debout, les racines en bas, et se fixe même au fond de l'eau dans cette position, simulant ainsi un végétal en place; mais les calamites sont de plus ou moins longs fuseaux sans branches ni feuillage, n'ayant que quelques racines d'un poids insignifiant; entraînées par les eaux, elles ont dû flotter à la manière des pièces de charpente et arriver couchées sur la vase du fond. Il semble donc hors de doute que cette calamite, qui est debout et dont les radicules ne paraissent avoir été dérangées par rien, a été trouvée là où le végétal lui-même est né et où il s'est développé.

Deux autres calamites plus petites, trouvées à côté de la précédente, étaient dans la même position.

De la tige non déformée du calamodendron, partent un certain nombre de racines disposées en verticelle au niveau de chaque nœud de la plante. On voit ces racines, très bien conservées, s'enfoncer, en plongeant, dans le grès schisteux environnant, sans que rien paraisse les avoir dérangées de leur position naturelle ni avoir modifié leur forme primitive. La tige et les racines sont encore entourées d'une écorce transformée en houille et qui se détache en grande partie à mesure que l'on débarrasse le fossile de la roche qui l'enveloppe. En admettant que le végétal primitif eût été arraché du sol et transporté par un courant quelconque jusque dans le ac au fond duquel se serait déposée la roche où ce fossile a été trouvé, l'arbre ainsi arraché et entraîné tout d'abord le long des rives, c'est-à-dire en eaux peu profondes, aurait certainement, selon M. Durand, subi des avaries dont on devrait retrouver les traces aujourd'hui. Le calamodendron, qui est assez complet, n'offre aucune de ces traces, quoique ses racines soient d'une certaine délicatesse, et l'auteur ne pourrait pas comprendre qu'une plante ait pu se conserver ainsi, si elle ne se trouvait pas dans le lieu et la position où elle a végété.

Enfin, le stigmariopsis est une grosse racine de syringodendron, qui a dû refouler le terrain tout autour d'elle en se développant. On voit très bien encore les strates du grès barré qui l'entoure onduler au contact de la racine par suite, nécessairement, de la pression exercée autrefois par cette dernière. Il ne paraît pas douteux que ce fossile ait été rencontrée là même où le végétal primitif s'est développé. Une pareille racine, entraînée par les eaux et arrivant sur la vase du fond, qui était, dans ce cas, très sableuse, n'aurait pas pu pénétrer dans cette vase, d'autant plus que le bois perd presque tout son poids dans l'eau ; elle se serait simplement posée dessus, et n'aurait été entourée et recouverte que plus tard par les dépôts subséquents, sans que ces derniers eussent à recevoir une pression quelconque du végétal tombé. On pourrait dire ici que cette grosse racine faisait partie d'un arbre entier descendu tout debout au fond des eaux; mais M. Durand fait remarquer que, même dans ce cas, les

racines n'auraient pas pu pénétrer dans le sable du fond, et que la pression exercée sur ce sable, par le végétal, aurait recourbé les strates en contre-bas, sans produire les petites ondulations que l'on voit tout autour du fossile et sur toute sa longueur. Cependant le végétal, enfoui par les dépôts ultérieurs, aurait pu, sous l'action du courant, exercer une certaine pression sur les depôts. M. Durand répond à cette objection qu'un arbre portant au fond ne saurait rester debout au milieu d'un courant d'eau, et que, du reste, fût-il debout, la pression exercée dans ce cas ne serait que d'un seul côté, dans le sens du courant.

Des effets de pression semblables à ceux qui accompagnent le stigmariopsis précédent, se remarquent aussi autour des calamites dont nous avons parlé plus haut.

Les calamites, les calamodendrées et les syringodendrons étaient des plantes de rivage qui pouvaient bien avoir leurs racines submergées, mais dont les tiges se développaient toujours hors de l'eau. Lorsque la calamite mentionnée ci-dessus vivait, la couche du toit devait donc être tout au plus à 5 mètres au-dessous de l'eau. La couche inférieure était très près de la surface des eaux lorsque le *Calamodendrea rhizobula* s'est produit. Et le stigmariopsis, qui est une racine croissant plutôt dans un sol sec que submergé, nous montre que la couche intermédiaire de Doyet était au niveau de la surface des eaux, peut-être en partie hors de l'eau, à l'époque où vivait le syringodendron dont il nous reste la racine

Ces trois fossiles sont les mieux caractérisés de tous ceux qui ont paru en place à M. Durand et qu'il lui a été possible de conserver; mais, de nombreux débris trouvés dans le voisinage des couches de houille indiquent soit par leur position, soit par la conservation parfaite du végétal resté intact dans toutes ses parties, même les plus délicates, qu'ils proviennent de plantes fossiles encore en place ou de plantes qui n'ont pas été entraînées au loin par les eaux.

Il est vrai que d'autres débris de ces mêmes végétaux fossiles présentent dés traces non douteuses de détérioration par le transport qu'ils ont dû subir autrefois. M. Durand ne s'en croit pas moins autorisé à conclure que les diverses couches exploitées à Doyet, étant au milieu de roches qui ont servi successivement de sol peu ou pas submergé à la végétation de l'époque houillère, ont dû se former ellesmêmes à une faible profondeur dans l'eau, et peut-être en partie hors de l'eau des galets des poudingues.

C'est, dans l'opinion de M. Durand, dans la vallée ou sur les rives d'un cours d'eau rapide et puissant par moments que se sont formées les couches de Doyet.

Le bassin houiller de Doyet (fig. 54), qui comprend aussi les concessions de Bizenet et de Montvicq, peut avoir une épaisseur de huit à neuf cents mètres dans ses parties les plus profondes. Il commence, au nord-ouest, par une bande étroite de terrain houiller, qui le relie au grand bassin de Villefranche, vers Deneuille, et il va en s'élargissant jusqu'à son extrémité sud, où il s'étend de Doyet à Bézenet, sur une largeur de 5 kilomètres.

Ce terrain houiller est formé de grès et de poudingues et de quelques assises schisteuses et charbonneuses. Jusqu'ici une seule des assises charbonneuses, l'assise supérieure, a été reconnue exploitable. Les travaux des concessions de Bézenet, de Montvic et de Doyet sont tous dans les couches de cette dernière assise.

Les galets des poudingues, plutôt petits que gros à la base du bassin, sont assez

volumineux dans les assises supérieures. Certains de ces galets ont quelquefois un volume de plus d'un mètre cube.

Des cours d'eau un peu rapides sont seuls capables d'entraîner et de transformer en galets roulés les débris des roches dures. Le Rhône, qui est le fleuve le plus rapide de l'Europe, ne roule plus de galets en aval de Beaucaire, où la pente est au-dessous de 40 centimètres par kilomètre. En amont de ce point, jusqu'à Lyon, la pente moyenne est d'environ 60 centimètres par kilomètre, et il n'y a pas dans cette partie du lit du Rhône, à une certaine distance des affluents, ce qu'on pourrait appeler des gros galets.

M. Durand n'a vu que dans l'Ardèche des gros galets comparables à ceux du bassin houiller de Doyet. Au pont d'Aubenas les galets d'un mètre cube environ sont fréquents dans le lit de cette rivière. En ce point, la pente moyenne du cours d'eau, déjà bien diminuée, est encore de plus de 7 mètres par kilomètre. Plus en aval, vers Voguë, cette pente moyenne est de $3^{m},50$, et les plus gros galets n'y atteignent pas au quart de mètre cube.

La grosseur des galets dépend de la vitesse du courant d'eau qui les roule; elle varie aussi avec la nature et surtout la dureté des roches ravinées dont ces galets proviennent. Les galets diminuent encore de grosseur avec la distance parcourue depuis la roche d'origine. Par conséquent, selon M. Durand, les plus gros galets des poudingues de son bassin houiller ont été déposés dans le lit d'un cours d'eau d'une pente moyenne de plus de 7 mètres par kilomètre.

Il y a, à l'extrémité sud des affleurements de poudingues à très gros galets situés au centre du bassin, un bloc de granit qui doit peser environ 5000 kilogrammes. Ce galet, grossièrement arrondi en forme de meule épaisse, est le plus gros qui ait été trouvé à la surface. Ce n'est pas un bloc usé, arrondi sur place, il a certainement été roulé par les eaux, puisqu'il est aujourd'hui à plus de 1 kilomètre de toute roche primitive d'où il pourrait provenir. Des galets plus volumineux encore ont été rencontrés dans les travaux souterrains.

Pour rouler de pareils galets, dit M. Durand, la pente des courants ne suffit pas, il faut encore des masses d'eau considérables. Les couches de houille exploitées à Bézenet, à Montvicq et à Doyet, situées dans le haut de la formation avec les grès et les poudingues à gros galets, ont dû se former sur les rives ou dans la vallée d'un cours d'eau rapide et assez puissant, ou plutôt sujet à des crues très importantes.

A l'origine, ajoute l'auteur, notre bassin, fermé presque de toute part, ne pouvait être qu'une dépression remplie d'eau, et non pas simplement la vallée élargie d'une rivière. C'était un lac traversé par un cours d'eau. Avant d'arriver dans ce lac, la vitesse du courant se ralentissait, et il ne pouvait plus se déposer sur les bords du bassin que du gravier à petits galets. Celui-ci se continuait par du sable de plus en plus fin jusqu'au plus profond du lac, où il ne devait guère s'accumuler que de la vase. Une fois le lac à peu près comblé, il ne restait plus qu'une vallée marécageuse où serpentait le cours d'eau de l'époque carbonifère. Les galets se déposent alors le long du courant, dont la pente diminue à mesure que la vallée se comble et s'exhausse.

On s'explique ainsi les petits galets des poudingues les plus au mur du bassin. Il y a eu un moment de vitesse maxima du courant lorsque le bassin a été

presque entièrement comblé ; alors se sont déposés les plus gros poudingues du terrain houiller. Tout à fait vers le sommet de la formation, les galets sont un peu moins gros.

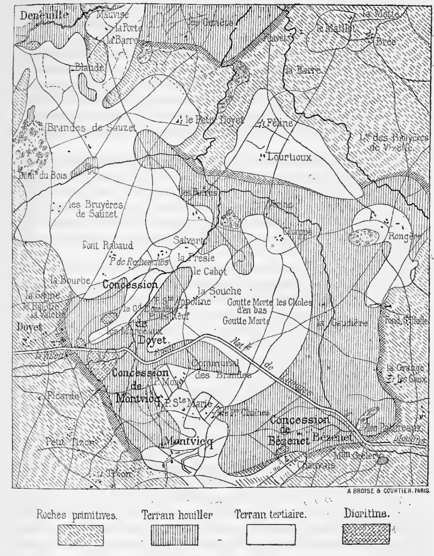


Fig. 54. — Carte géologique du bassin houiller de Doyet. — D'après M. Durand.

La grosseur des débris déposés diminue à mesure qu'on s'éloigne du principal courant. De sorte qu'au début de grandes épaisseurs de vase ont dû s'accumuler au fond du bassin ; puis celui-ci comblé en grande partie, les dépôts les plus fins

se font sur les côtés du courant, dans les eaux dormantes ou animées d'une faible vitesse. Le courant se déplaçant, les dépôts changent de nature pour le même point du bassin : des grès et des poudingues peuvent, de la sorte, se superposer aux schistes, et réciproquement. Il va sans dire que, pendant le remplissage du lac lui-même, les schistes, les grès et les poudingues ont pu alterner d'une manière analogue, par suite du déplacement du courant sur le delta, qui s'avançait dans le lac, et des variations de vitesse de ce courant.

Mais tous ces dépôts ne s'entassent pas pour ainsi dire les uns sur les autres sans qu'il se produise des affaissements très importants. La couche de stigmariopsis, en place, quoique aplatie, avait des racines de 30 centimètres de pourtour, ce qui indique un diamètre primitif de 10 centimètres environ. Le schiste argileux dans lequel s'étalait cette racine a aujourd'hui moins de 4 centimètres d'épaisseur, tandis qu'autrefois il était assez épais pour contenir la racine précédente non encore aplatie.

Ce schiste a donc été réduit au tiers au plus de son épaisseur par la pression des assises supérieures qui ont dû en refouler une partie vers les points les moins chargés. Tous les dépôts les plus fins, surtout ceux du bassin, ont pu être refoulés de la sorte par le poids des assises accumulées au-dessus, et même, en dernier lieu, être repris en partie par le courant qui les a emportés au delà de ce bassin. A cette cause importante d'affaissement vient s'ajouter le tassement ordinaire subi par l'ensemble des dépôts.

On comprend alors que les couches de combustible, quoique sur les rives ou ne s'avançant qu'à une faible profondeur dans l'eau, soient descendues assez au-dessous de ces eaux pour être recouvertes par les dépôts ultérieurs. Ces couches, à leur tour, ont subi des tassements considérables pour être amenées à la densité de la houille, et elles ont pu, comme les schistes, être refoulées sur certains points.

L'affaissement total ainsi produit est d'autant plus grand que la masse des dépôts est plus considérable. Les dépôts peu épais, et par suite peu tassés, des bords du bassin, semblent aujourd'hui se relever sur les roches encaissantes, tandis que les couches vont en s'enfonçant vers le milieu, où une grande épaisseur de dépôt correspond aux plus grands affaissements. De là, la forme de cuvette qu'affectent les terrains et le dénivellement des couches de Doyet.

Le terrain houiller de Doyet, ainsi que ceux de Commentry et de Villefranche, repose en général directement sur des granits divers, traversés par de la pegmatite en certains endroits. Les gneiss ne paraissent que sur quelques points autour de ces bassins, et il n'y a presque pas de porphyre.

Les poudingues de ce terrain houiller contiennent des débris de ces différentes roches encaissantes. On y trouve aussi des galets de roche verte provenant d'une grauwacke très ancienne, visible sur plusieurs points des bords du bassin de Doyet et de celui de Villefranche. Les poudingues de chaque assise ont encore quelques galets ou fragments des dépôts houillers qui leur sont antérieurs ; et presque dès la base du bassin commencent à paraître dans les poudingues des galets de dioritine qui deviennent de plus en plus nombreux à mesure qu'on s'élève dans la série des roches qui remplissent ce bassin.

Dans les grès et dans les poudingues du mur des couches exploitées et à une certaine distance de ces dernières, plusieurs bancs de grès grossiers contiennent des

fragments de houille parfois assez gros, fragments découpés suivant les clivages de celle-ci. Cette houille, parfaitement clivée, est très pure; elle est grasse et brûle avec une longue flamme. Ces fragments anguleux ne peuvent provenir que d'une formation antérieure; et le végétal ou les amas de végétaux qui les ont fournis étaient déjà à l'état de houille clivée, de houille parfaite, lors du ravinement. Il a donc fallu, pour transformer en houille parfaite ces végétaux primitifs, un temps moins long que celui nécessaire pour déposer la masse de terrain, relativement faible, qui sépare aujourd'hui ces fragments de houille des assises ravinées d'où ils proviennent.

De pareils fragments de houille ont été encore remarqués sur d'autres points, par exemple, à Bézenet, de véritables galets de houille dans les grès.

Les végétaux de l'époque houillère ont pu, par suite, se transformer en houille parfaite dans un temps beaucoup plus court qu'on ne l'avait cru jusqu'ici.

Recherches de M. Gümbel sur la compression des combustibles. — En comprimant sous des pressions de 6000 et de 20 000 atmosphères des tourbes composées presque exclusivement de feuilles et de tiges de *Sphagnum*. M. Gumbel a obtenu une réduction de dimension, dans le premier cas, de 100 à 17,7 dans le sens vertical et de 100 à 13,9 dans le sens parallèle à la stratification; dans le second cas, c'est-à-dire sous une pression de 20 000 atmosphères, la réduction a été respectivement de 100 à 10,7 et de 100 à 13. Mais les tourbes ainsi comprimées reprenaient dans l'eau leur volume primitif et ne pouvaient par conséquent être considérées comme transformées par la pression en tourbe compacte.

Voici, d'après M. Gümbel, l'aspect du microscope d'un même lignite à l'état naturel (fig. 55) et soumis à une forte compression (fig. 56) :



Fig. 55. — Structure microscopique du lignite d'Imberg Graben. *a* tangentiellement; *b* parallèlement; *c* perpendiculairement. — D'après M. Gumbel.



Fig. 56. — Le même lignite soumis à 20 000 atmosphères de pression. Même signification de lettres. — D'après M. Gumbel.

Il résulte des recherches de M. Gumbel que la plupart des tourbes, aussi bien celles qui se sont formées sur place que celles dont les matériaux ont été accumulés par flottage, présentent une stratification nette en lits souvent extrêmement minces. Toutes se montrent constituées par des débris de plantes plus ou moins altérés, mais encore visiblement organisés, séparés par une substance amorphe analogue à l'humus (matière ulmique ou humique) qui résulte d'une décomposition complète de la matière végétale, transformée par une oxydation graduelle et qui forme le ciment de la masse.

Il a pu dans quelques cas, comme pour la dopplérite, se produire un départ de

la matière ulmique, qui a formé à elle seule des couches ou des lits d'un charbon absolument amorphe; mais ce phénomène n'a dû jouer dans la constitution des gîtes de combustibles qu'un rôle tout à fait secondaire.

La transformation en houille des accumulations de débris végétaux n'a exigé ni de fortes pressions ni une chaleur considérable. Le peu d'importance des déformations subies par les éléments des tissus organisés qu'on découvre dans les couches de charbon prouve bien que la compression n'a pu sérieusement intervenir dans leur transformation; elle ne peut non plus expliquer les différences d'aspect des diverses variétés de charbon, puisque l'on voit celles-ci se succéder à plusieurs reprises, alternativement mates et brillantes, dans une seule et même couche, et que la houille brillante constitue l'écorce de troncs verticaux sur lesquels la pression des couches n'a pu exercer son influence. On doit également rejeter l'hypothèse qui attribue à une forte pression la formation de l'anthracite comme étant le charbon le plus compact de la série houillère : on trouve en effet, dans plusieurs gisements, les couches d'anthracite à la partie supérieure, et l'observation prouve aussi que les accidents, rejets, plissements, subis par les couches, n'ont pas toujours eu pour conséquence la transformation de la houille en anthracite; mais les dislocations résultant de ces accidents ont pu, en rendant les roches encaissantes plus perméables à l'air et à l'eau, favoriser le progrès des actions chimiques et particulièrement de l'oxydation de l'hydrogène, d'où est résultée la formation de combustibles plus riches en carbone.

L'explication des différences qui existent entre les diverses variétés de houille, charbon mat, charbon brillant, fusain, cannel-coal, et autres, peut, d'après les observations faites sur leur constitution, être cherchée dans trois systèmes de conditions, savoir :

1° La différence originelle entre les parties de plantes et entre les espèces végétales dont l'accumulation leur a donné naissance;

2° L'état dans lequel se trouvaient ces débris végétaux tant au point de vue mécanique qu'au point de vue chimique;

3° La différence des conditions extérieures dans lesquelles s'est faite la transformation en charbon, savoir notamment le mélange d'éléments minéraux en proportion plus ou moins forte, l'action plus ou moins limitée de l'air, la dessiccation plus ou moins rapide, la durée plus ou moins longue des circonstances favorables à la transformation, la puissance plus ou moins considérable de l'amas des matières végétales.

En ce qui concerne le premier point, il suffit de rappeler les différences qu'on observe entre les éléments de la houille suivant qu'on a affaire à de la houille brillante, mate ou à du cannel-coal : la prédominance, dans la houille brillante, des écorces et des tissus ligneux, la fréquence, dans la houille mate, des organes foliacés, principalement des membranes épidermiques, avec les parties moins solides des plantes, enfin la présence constante, dans le cannel-coal, d'une quantité considérable de spores et de houppes d'algues, semblables à celles qui ont été représentées plus haut (fig. 38), paraissent à M. Gumbel établir positivement qu'il y a corrélation directe entre la nature des plantes ou débris de plantes qui ont formé les houilles et l'aspect sous lequel celles-ci se présentent, venant se ranger dans telle ou telle des variétés qui ont été énumérées.

L'état dans lequel se trouvait la matière végétale au moment où elle s'est déposée pour contribuer à la formation du gîte, avant toute modification ultérieure, n'a pas dû exercer une moindre influence ; le fait est pour ainsi dire évident pour le fusain, qu'on rencontre dans la houille non seulement en taches et en fragments de dimensions appréciables, mais aussi sous forme d'aiguilles et de débris très divisés parfaitement distincts de la masse dans laquelle ils sont noyés. Le bois a dû subir une sorte de pourriture à l'air libre sous l'influence de la chaleur solaire et de périodes alternativement sèches et humides, et ce mode de transformation des tissus végétaux a certainement joué un rôle important à l'époque houillère.

Les fragments ligneux qui ont ainsi donné naissance au fusain ont d'ailleurs pu se déposer sur place, à la surface des marécages tourbeux occupés par les arbres dont ils provenaient, et il n'est pas nécessaire d'admettre exclusivement qu'ils ont été transportés par flottage. Il est assez probable que c'est à un mode de décomposition et de désagrégation analogue qu'il faut attribuer la formation des petits grains ou flocons d'origine végétale qu'on rencontre fréquemment dans la houille mate et particulièrement dans le cannel-coal. On trouve d'ailleurs dans la terre végétale et dans les tourbes des particules de plantes extrêmement divisées qui se présentent sous un aspect semblable, et l'on sait que certaines tourbes et que certains lignites tertiaires sont aussi formés d'une accumulation de parcelles végétales complètement désagrégées. On peut se rendre compte de la manière dont se produit cette désagrégation en attaquant par le réactif oxydant des débris de plantes déjà décomposées et en les traitant ensuite sous le microscope par l'ammoniaque : on les voit alors se diviser en une masse de corpuscules, de petits grains, de flocons, de pellicules qui nagent dans la liqueur comme résultant de la dissolution d'une partie de la matière végétale et qui ressemblent absolument à ceux qu'on observe souvent en grande quantité dans les combustibles minéraux.

Enfin des éléments de même nature, se trouvant dans le même état au moment de leur dépôt, ont pu, soumis à des conditions extérieures différentes, ne pas subir les mêmes transformations et donner naissance, par conséquent, à des variétés de houille différentes. Il est à peine besoin de rappeler l'influence de la proportion des matières terreuses mélangées, qui font passer graduellement des houilles pures à des houilles cendreuses, puis à des houilles schisteuses et enfin à des schistes bitumineux. C'est ce qui arrive actuellement sur les bords des tourbières, où les particules sableuses ou argileuses qui se mélangent à la tourbe la rendent souvent inutilisable. On ne saurait non plus révoquer en doute l'influence que doit exercer sur un amas de matières végétales l'épaisseur plus ou moins grande des masses qui le recouvrent. C'est ainsi que, dans les tourbières, les couches inférieures deviennent de plus en plus homogènes et passent graduellement à la tourbe compacte. Indépendamment de la pression des couches supérieures, qui a certainement joué un rôle, bien qu'elle ne soit pas très considérable, puisque les débris de plantes contenus dans ces tourbes se montrent à peine déformés, il est incontestable que la présence de ces couches a dû, en empêchant l'accès de l'air, en s'opposant au dessèchement des masses qu'elles recouvraient, modifier les réactions chimiques dont celles-ci étaient le siège. La même chose a eu lieu pour les couches houillères, et il est évident que les transformations chimiques n'ont pas dû être les mêmes dans les couches recouvertes de puissants dépôts argileux imper-

méables à l'air et à l'eau et dans celles sur lesquelles reposait seulement une faible épaisseur de sables peu consistants. C'est peut-être à des causes de ce genre qu'il faut attribuer le mode de répartition des charbons maigres et des charbons gras dans diverses régions d'un même bassin ou dans différentes parties d'une seule et même couche. La plus ou moins grande abondance du grisou peut aussi dépendre de conditions analogues, suivant que les couches de charbon sont encaissées dans des roches plus ou moins imperméables aux gaz ou encore suivant que le dépôt de matières végétales a été plus ou moins rapidement recouvert de dépôts plus ou moins puissants.

On arrive ainsi à se rendre compte de la diversité extrême de nature et d'aspect que peuvent présenter les houilles, suivant les conditions qui ont présidé à leur formation.

On ne peut douter que certaines houilles soient presque entièrement composées de spores ; et cependant, quand on réfléchit à la très faible dimension de celles-ci, on serait retenu en quelque sorte par l'immensité du nombre qu'il faut supposer si l'observation directe ne reproduisait maintenant le fait devant nous.

Des exemples contemporains d'une accumulation de corpuscules du même genre ne sont pas rares. En 1858, une grande pluie de pollen de pin se produisit aux environs d'Inverness ; la terre, sur une étendue de 33 milles, était couverte d'une couche de cette substance atteignant par places un demi-pouce d'épaisseur. La surface entière des grands lacs du Canada est souvent couverte d'une épaisse couche du même pollen, et des faits analogues ont été cités en Norwège et en Lithuanie.

Il semble qu'on ne puisse conserver aucune hésitation à cet égard quand on fait attention aux dimensions des lépidodendrons houillers.

Regardons le nuage de spores que laisse échapper un pied de nos tout petits lycopodes, et figurons-nous ce que devait donner une forêt entière des gigantesques arbres primaires !

N'y a-t-il pas dans cette remarque de quoi satisfaire l'esprit le plus sceptique ?

Houille animale. — Les matières animales peuvent donner naissance à de la houille comme le montre la transformation en charbon brillant des débris de poissons qu'on rencontre dans différents terrains : houiller, permien, lias, etc.

Cette houille animale forme parfois des couches minces, mais régulières, par exemple à Münsterappel, dans l'étage de Lebach : le charbon de ces couches, d'un noir brillant, à cassure anguleuse, renferme un grand nombre d'écailles et de corps entiers de poissons facilement reconnaissables. Il paraît compact et amorphe, mais les esquilles traitées par les réactifs oxydants montrent des veines irrégulièrement parallèles, très caractéristiques, traversées par des veines foncées, avec des taches de formes particulières ressemblant à des cicatrices.

§ V. GISEMENT DE LA HOUILLE.

Le terrain houiller ne forme à la surface des assises préexistantes, de transition, schisteuses ou granitiques, que des bassins isolés ou sporadiques.

Les premiers bassins houillers importants qui se présentent dans l'ancien monde, lorsqu'on se dirige de l'équateur vers les pôles, sont ceux de l'Andalousie, qui offrent d'ailleurs peu d'importance. On peut donc placer la limite méridionale de la zone des gisements de houille vers le 37e degré de latitude. A mesure que l'on se dirige vers le nord, les bassins houillers se montrent de plus en plus nombreux et étendus; ils atteignent leur maximum d'extension entre le 49e et le 54e degré de latitude. On n'en rencontre plus en Europe au delà du 56e degré de latitude. L'Amérique septentrionale est la région la plus riche en gisements de houille; la zone où ces gisements existent est comprise entre le 32e et le 50e degré de latitude; on voit qu'elle offre à peu près la même largeur qu'en Europe, mais elle est plus rapprochée de l'équateur de 8 degrés environ. Il est remarquable que cette zone subisse en Amérique une inflexion semblable à celle que les lignes isothermes y présentent de nos jours. L'Amérique méridionale ne possède pas de gisements houillers; les combustibles qu'on y rencontre sont des lignites d'une époque relativement moderne. L'Australie, la Nouvelle-Zélande et la Chine possèdent de riches gisements.

La zone qui a été exclusivement le siège de la formation de la houille occupe à peu près le cinquième de la surface totale du globe; mais la houille n'a pu se constituer sur toute l'étendue de cette zone, qui devait être en partie recouverte par les eaux de la mer. En supposant que les deux tiers de cette zone fussent émergés, il en résulte que l'espace où la houille a pu se produire égalait à peine les 2/15 de la surface du globe. Mais cet espace n'a pas été en totalité envahi par la houille. Le terrain houiller occupe 1/10 du territoire de l'Angleterre, 1/12 de celui de la Belgique et 1/100 de celui de la France. Son extension est encore plus faible en Espagne, et nulle dans quelques pays qui, tels que l'Italie, se trouvent pourtant dans la zone des houillères. Prenons, pour représenter l'étendue moyenne des bassins houillers dans cette zone, le nombre qui correspond à la France, en d'autres termes, supposons que la houille occupe un centième de la zone où sa formation était possible, nous arriverons à cette conclusion que la houille recouvre les 2/1500 de la superficie de notre planète. Si l'on admet ensuite que, dans chaque bassin houiller, l'épaisseur moyenne du combustible est de 40 mètres, il en résulte que toute la houille appartenant à notre planète formerait, si elle était uniformément répartie sa surface, une couche de 0m,05.

« Cette évaluation, dit M. Vezian, qui a fait ces calculs, est un maximum, puisque dans toutes les données qui ont servi de base à nos calculs nous avons employé les appréciations les plus fortes. »

BASSINS HOUILLERS DE L'EUROPE

On doit à MM. Geinitz, Fleck et Hartig[1] une monographie très complète de tous les bassins houillers de l'Europe. Ce travail, qui embrasse à la fois le côté ndustriel et le côté scientifique de la question, contient une classification de tous les bassins d'après la flore qui domine dans chacun d'eux.

1. *Die Steinkohlen Deutschlands*, etc., Munich, 1865, et *Neues Jahresbuch*, 1876, p. 943.

M. Geinitz distingue de bas en haut trois zones principales :

1° La zone des *Lycopodiacées*, comprenant la houille maigre de la Westphalie, celle de la Loire-Inférieure et celle de la Russie centrale ;

2° Les deux zones des *Sigillariées* et des *Calamites*, qui embrassent à elles deux presque tous les bassins houillers importants du continent.

3° Enfin la zone des *Annulariées* et des *Fougères* représentée par le bassin de Plauen, en Saxe, par les gîtes de Rakonitz et de Pilsen en Bohême, par les anthracites de Corse et de Sardaigne; par les gîtes d'Ilfeld dans le Harz, d'Ebendorf dans le Haut-Palatinat et de Rossitz en Moravie.

BASSINS DE LA FRANCE

Le caractère circonscrit et multiple des bassins français est tel que leur surface totale, qui est de 5500 kilomètres carrés, se subdivise entre soixante bassins distincts.

La distribution géographique des bassins houillers figurés sur la carte géologique et leurs relations avec les voies navigables ou avec les chemins de fer qui en distribuent les produits permettent de les diviser en trois zones transversales formant trois groupes distincts :

Le groupe du *Nord*, limité par une ligne de démarcation passant par la latitude du Mans et d'Orléans. Il comprend principalement les houillères des départements du Nord et du Pas-de-Calais, qui appartiennent à un même bassin, découvert depuis Aix-la-Chapelle jusqu'à Charleroi, indiqué au couchant de Mons par l'affleurement de la partie méridionale et se prolongeant vers Valenciennes, Douai et Béthune en dessous des *morts-terrains* secondaires ou tertiaires. Ce bassin forme une zone étroite sur le littoral d'un massif de transition, il approvisionne, concurremment avec les charbons belges, toute la région du nord.

Quelques petits bassins, répartis sur la surface du massif de la Bretagne, aux environs de Quimper, ou sur son littoral, à Litry (Calvados), ne peuvent guère être comptés dans la production houillère; mais réunis aux anthracites dévoniens de la Sarthe et de la Mayenne, également compris dans ce groupe, ils indiquent l'existence et la position des terrains houillers sur les terrains de transition de l'ouest.

Le groupe du *Centre* se compose de la zone comprise entre la latitude du Mans et d'Orléans et celle qui passerait par Aurillac et Valence; il contient un grand nombre de bassins dispersés dans les vallées qui sillonnent le plateau central ou sur le littoral de ce plateau, vers le contact des terrains de transition et des terrains secondaires.

Les plus importants sont les bassins de Saône-et-Loire (Montceau-les-Mines, le Creusot, Épinac); ceux de l'Allier (Commentry, Bezenet); les bassins de Decize dans la Nièvre; de Saint-Éloi, de Brassac, dans le Puy-de-Dôme et la Haute-Loire, d'Ahun dans la Creuse; le bassin de la Loire (Saint-Étienne et Rive-de-Gier), le plus riche de la France sous le double rapport de la puissance et de la qualité des gîtes.

La région orientale de cette zone présente le bassin de Ronchamps, dans la Haute-Saône et les terrains à anthracites des Alpes, aujourd'hui reconnus comme apparte-

nant à l'époque houillère ; à Lamure, près Grenoble, ces terrains forment un bassin d'nne richesse remarquable ; vers Saint-Jean de Maurienne et Aiguebelle, des gîtes intéressants d'anthracite sont reconnus jusque dans les contreforts des Alpes.

La région occidentale de cette zone n'est pas tout à fait dépourvue : on y voit figurés les bassins de Faymoreau, de Vouvant et de Chantonnay, et surtout celui de la Basse-Loire, longue zone houillère dont la partie la plus riche se trouve dans le val même de la Loire.

Le groupe du *Midi* renferme comme bassins principaux : le bassin de l'Aveyron (Decazeville, Aubin); celui du Gard (la Grand'Combe, Portes, Bessèges); le bassin de Carmaux, dans le Tarn, et celui de Graissessac, dans l'Hérault.

Quelques petits bassins sporadiques, situés dans la direction de Narbonne, vers Roujan, Segure et Durban, semblent indiquer une continuation des affleurements houillers; mais ces terrains sont de peu d'importance. Il en est de même de la zone du terrain houiller dont les affleurements ont été reconnus en plusieurs points sur les flancs du massif des Maures et de l'Esterel, depuis Toulon jusqu'à Fréjus.

La zone des houillères du Nord ne dépasse guère, du côté du sud, le marché dit *de Paris*. Les extractions alimentent tous les départements compris dans les limites indiquées, concurremment avec les charbons anglais, qui dominent les marchés du littoral, soit avec les charbons belges, qui occupent la limite orientale et pénètrent même dans l'ouest, au delà de Paris.

La zone du Centre est alimentée par les bassins du plateau central, qui, vers l'est, luttent avec les importations de Sarrebruck, et vers l'ouest avec les charbons anglais.

La zone du Midi est alimentée par le bassin de l'Aveyron, qui déverse ses produits jusque sur le marché de Bordeaux, en concurrence avec les importations anglaises par les bassins du Gard et de Graissessac, qui rayonnent vers Avignon, Marseille et Toulon, où ils les rencontrent également.

Nous allons entrer dans quelques détails à l'égard des principaux bassins.

Nord. — La zone septentrionale se compose du prolongement souterrain, en France, des terrains houillers qui traversent la Belgique. Cette zone, en grande partie découverte, de Liège à Mons, pénètre sous les morts-terrains de la France après avoir franchi une saillie souterraine de calcaire carbonifère qui s'avance jusqu'auprès de son axe.

Ces terrains forment une bande étroite, appuyée sur le bord septentrional du massif de transition du Rhin, suivant une direction presque est-ouest. Elle commence par le bassin de Liège, dont la largeur maximum de 12 000 mètres s'étrangle progressivement en suivant, à une faible distance, la rive gauche de la Meuse, et se trouve interrompue par la vallée transversale du Samson ; elle reprend à Charleroi une largeur de 8000 mètres, traverse la région du centre belge et se poursuit au couchant de Mons avec une largeur de 11 000 mètres, en partie recouverte par des morts-terrains. A l'ouest de Dour et d'Élonges, vers la frontière française, la largeur de cette zone houillère est entièrement recouverte et disparaît au-dessous des terrains crétacés. A Anzin, où elle a été retrouvée, l'épaisseur moyenne des morts-terrains est de 80 mètres, épaisseur qui augmente vers Denain, Aniche,

Douai, Lens et Béthune, où l'on a dû traverser jusqu'à 150 mètres de terrains crétacés avant d'atteindre le terrain houiller.

De Valenciennes à Douai, la zone houillère présente seulement trois étages successifs : les charbons maigres anthraciteux, exploités à Vieux-Condé, Hergnies, Fresnes, Vicoigne ; les charbons demi-gras, exploités à Anzin ; les charbons gras, exploités à Denain, Lourches et au sud d'Aniche.

Les charbons maigres occupent une large zone sur toute la lisière septentrionale du bassin. Ainsi, depuis l'axe même de la zone, au sud de Vicoigne, jusqu'à la limite nord, toutes les couches reconnues sont maigres. La transition est progressive, depuis le véritable anthracite qui forme les premières veines inférieures, jusqu'aux maigres ou peu flambants. Tous ces charbons brillants, difficiles à allumer, ne brûlent qu'en masse et sous l'influence d'un fort tirage : ils sont plus ou moins décrépitants.

A mesure qu'on s'élève dans la série des couches, les charbons deviennent un peu plus flambants et passent aux demi-gras, la transition étant appréciable d'une couche à la couche supérieure ; la stratification reste d'ailleurs concordante entre la zone des maigres et celle des demi-gras.

Les charbons gras se trouvent sur la lisière méridionale du bassin, où ils forment une troisième zone, sans que les couches maigres affleurent en dessous, ainsi que l'exigerait la symétrie géologique de la stratification.

Cette anomalie est accompagnée d'un accident considérable, parallèle à l'axe longitudinal du bassin, depuis Saint-Saulve et Anzin jusqu'à Denain et Abscon, accident indiqué sous la dénomination de *Faille au pli* ou *Cran de retour*. C'est une faille qui sépare nettement la zone houillère en deux parties, l'une au nord, comprenant les maigres et les demi-gras, l'autre au sud, comprenant les charbons gras.

La partie de la zone houillère comprise, d'une part, entre le promontoire du calcaire carbonifère de Quiévrain, et d'autre part, l'étranglement avec changement de direction qui se prononce à Douai, constitue en quelque sorte un bassin spécial qui est notre *bassin du Nord*. Dans ce bassin, la disposition et la nature des couches de houille présentent des caractères presque constants.

Sur la lisière septentrionale, les combles nord sont d'abord représentés par une large zone de grès stériles à laquelle succède la zone des houilles maigres anthraciteuses.

La zone des grès et des schistes contenant les houilles maigres anthraciteuses affleure sur plusieurs kilomètres de largeur. La stratification y est assez régulièrement inclinée de 30 degrés vers le sud et les diverses couches imbriquées se succèdent à la surface, à mesure qu'on s'avance de la lisière nord vers l'axe du bassin.

Le faisceau des houilles maigres suit le littoral du bassin jusqu'en Belgique, où il a été reconnu par les fosses de Beaudour, de Sirault et de Bernissart ; il est surtout développé dans une sorte de golfe où se trouvent les exploitations de Fresnes et de Vieux-Condé, puis reprend sa marche normale sur Vicoigne, où il est activement exploité. Plus à l'ouest, ce faisceau a été reconnu par quelques travaux ouverts sur les territoires d'Hasmon et de Marchiennes ; il se prolonge probablement dans la partie septentrionale

Le faisceau des couches maigres, exploité à Vicoigne, comprend 15 veines principales, dont les épaisseurs réunies représentent $0^m 75$, répartis dans une zone de

terrain de 1300 mètres de largeur à la surface. En réalité la richesse du terrain est plus considérable, puisqu'il n'est pas tenu compte des veiniats, dont quelques-uns sont exploitables, et que d'autre part certaines veines recoupées en cran pourront, par des travaux ultérieurs, être retrouvées en allures normales.

L'axe central du bassin du nord est marqué par le faisceau des houilles *demi-grasses.*

Le faisceau de ces couches paraît le plus riche, car il comprend au moins 24 couches distinctes. Il est exploité par les fosses Thiers, Chauffour, Saint-Louis, Réussite, Casimir-Périer, Haveluy. En sortant des concessions d'Anzin et de Denain, il pénètre dans celle d'Aniche, où il présente une régularité remarquable et se prolonge sur le territoire de l'Escarpelle.

De la fosse Thiers jusqu'à la fosse Casimir-Périer, c'est-à-dire sur une longueur de 30 kilomètres, le faisceau des houilles demi-grasses est limité par la grande *Faille au pli* ou *Cran de retour*. Au sud de cette faille commence le faisceau des houilles grasses, de telle sorte que toutes les coupes transversales faites sur cette longueur présentent une disposition analogue à celle qui est indiquée par une coupe passant dans la région centrale d'Haveluy (fig. 57).

Pour placer les fosses d'Haveluy on fit exécuter trois sondages, dont les positions sont indiquées. La coupe des terrains fut ensuite établie d'après les travaux exécutés dans les mines situées à l'est et à l'ouest. Ainsi on mit en place la *Faille au pli* ou *Cran de retour* qui sépare le faisceau des *houilles grasses* du faisceau des *houilles demi-grasses*. Cette faille a déterminé un *rejet* considérable, qui amène les *combles du nord* formés par un *pendage* régulier des houilles demi-grasses et des houilles maigres vis-à-vis les *allures repliées* du faisceau des houilles grasses qui forment les *combles du midi*.

La faille au pli, qui jette cette incertitude sur l'allure générale des couches, se perd près de la concession d'Aniche, de telle sorte que les questions posées par la structure du bassin de Quiévrain à Somain peuvent trouver quelques éléments de solution dans les travaux poursuivis entre Denain et Douai.

Les couches supérieures du bassin d'Aniche sont les plus grasses et forment, au sud, un faisceau ployé sous forme de V, qui a été exploité par les premiers puits de cette concession. Les couches reconnues au sud, vers le contact du calcaire carbonifère, dans la concession d'Azincourt, sont encore des houilles grasses à courte flamme.

Les couches de houille sèche et flambante, dans lesquelles les travaux actuels des fosses d'Aniche sont principalement développés, sur une longueur de 5 kilomètres, paraissent devoir se raccorder en profondeur aux couches grasses à courte flamme, en décrivant une courbe qui semble rejoindre les allures du faisceau des houilles grasses de l'ancien faisceau du sud. Il y aurait donc une modification progressive de la qualité dans les mêmes couches, cette qualité comportant en moyenne 14 pour 100 de matières volatiles pour les couches du nord et 20 pour 100 pour celles du sud.

Quant aux houilles maigres, on admet qu'elles existent en profondeur au-dessous des houilles sèches, mais qu'elles viennent buter, sans affleurer, contre le calcaire carbonifère. En d'autres termes, les étages supérieurs des houilles grasses et demi-grasses auraient été déposées plus vers le sud, par un de ces déplacements de l'are

Fig. 57. — Coupe transversale du bassin du nord. — MT, morts terrains; C_M, charbon gras; C_m, charbon demi-gras; FF, faille au pli. — D'après M. Burat.

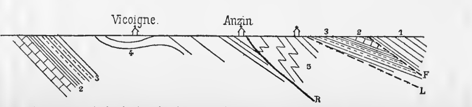


Fig. 58. — Coupe du bassin d'Anzin, d'après M. Gosselet. — 1, silurien et dévonien inférieur; 2, dévonien; 3, carbonifère; 4, houille de Vicoigne; 5, houille grasse de Denain; F, faille du midi; L, faille limite; R, faille de retour. — Contrairement à la figure précédente, le nord est ici à gauche et le sud à droite.

du bassin dont les dépôts houillers vous présentent tant d'exemples ; leur stratification serait transgressoire.

Lorsqu'on voit la structure normale du bassin exprimée d'une manière si simple et si précise dans la concession d'Aniche, on se demande si l'on n'est pas en droit de conclure qu'il en doit être de même à Anzin, à Mons, à Charleroi, et si ce ne sont pas les failles qui empêchent d'y reconnaître les mêmes traits.

La concession d'Aniche, qui occupe, sur 14 kilomètres, la longueur du bassin, présente d'ailleurs un bel exemple des allures régulières des divers faisceaux houillers.

L'épaisseur des morts-terrains superposés au terrain houiller est de 125 mètres (minimum) à Traisnel ; 160 à 180 mètres aux autres puits foncés dans la concession ; 231 mètres (maximum) au puits Sainte-Marie.

En 1852 furent ouverts à l'ouest de la concession d'Aniche, et près de Douai, les travaux des fosses Gayant et Notre-Dame, qui exploitent actuellement un faisceau de 15 couches de houille grasse à courte flamme, contenant 20 pour 100 de matières volatiles. Plus au sud, la fosse Dechy a trouvé des houilles encore plus grasses, contenant 22 pour 100 de matières volatiles. Ce faisceau de Douai, actuellement exploré sur 4000 mètres en direction, peut être considéré comme composé de vingt couches représentant une puissance totale de 11 mètres, compris dans une zone horizontale de 1100 à 1200 mètres. C'est en moyenne une couche de $0^m,55$ de puissance par 60 mètres de terrain houiller.

M. Gosselet[1], en s'appuyant sur les travaux de MM. Fuchs et Obry relativement à la reprise des concessions de Marly et de Crespin, a présenté quelques considérations sur l'allure des terrains houillers au sud du bassin de Valenciennes. L'auteur pense que le terrain houiller existe sous la ville de Valenciennes. Puis, interprétant divers sondages, il en déduit une coupe du bord méridional du bassin avant ses dislocations. D'après cette coupe, les assises carbonifères se seraient déposées presque à angle droit sur la tranche des couches siluriennes et dévoniennes. Depuis, il y a eu de nombreux renversements, par suite desquels la série dévonienne est venue, en divers points, recouvrir le terrain houiller suivant des plans de rupture très peu inclinés à l'horizon (fig. 58). En certains cas, comme à Quéwrechain, il en résulte une structure des plus compliquées.

M. Vuillemin, directeur des mines d'Aniche, établit comme suit la production annuelle par ouvrier entre les houillères du Nord et celles dont les produits leur font concurrence.

	Production annuelle par ouvrier.
Houillères du Nord (France).	149 tonnes.
— de Saint-Étienne	226 —
— de la Sarre (Prusse) . . .	170 —
— de Charleroi (Belgique) . .	190 —
— de la Ruhr (Prusse). . . .	210 —
— de l'Angleterre.	515 —

Le classement du charbon se fait dans le nord sous les dénominations suivantes :

1. *Société géologique du Nord*. t. II, p. 115.

on appelle *houille* les gros blocs, *gaillettes* les gros morceaux, *gailletteries* les morceaux de la dimension du poing, *gailletins* ou *têtes de moineaux* ceux de la dimension d'une noix, *menu* le charbon en poussière, enfin *tout-venant* la houille mélangée.

Pas-de-Calais. — Le bassin du Pas-de-Calais, qui forme l'extrémité occidentale de la zone houillère du Nord, n'a été reconnu que vers 1842. Un sondage entrepris à Oignies, à l'effet de rechercher des eaux artésiennes, rencontra, vers 140 mètres de profondeur, des schistes analogues aux schistes houillers. Ce fut un trait de lumière, et le sondage, changeant aussitôt de but, fut poussé jusqu'à la profondeur de 400 mètres, de manière à constater l'existence du terrain houiller contenant une série de couches de houille. Plusieurs autres sondages furent entrepris aux environs, notamment ceux de Rismes en 1845; ils se multiplièrent, amenèrent le fonçage des puits et la constitution successive des concessions. La concession des mines de houille de Dourges[1] est située sur les communes d'Ostricourt (Nord), Leforest, Evin-Malmaison, Courcelles-lez-Lens, Noyelles-Godault, Hénin-Liétard, Dourges, Courrières, Oignies, Montigny-en-Gohelle, Billy-Montigny (Pas-de-Calais).Elle est traversée par le canal de la Deûle, par la ligne des houillères qui la coupe suivant une diagonale, et par la route nationale nº 43, de Calais à Bouchain, parallèle à la limite sud de la concession.

Ses limites renferment une étendue superficielle de 37 kilomètres carrés, 87 hectares.

La surface forme un pays plat, dont le sol est très fertile, sauf dans quelques endroits qui avoisinent le canal. Sous la terre végétale, on trouve l'argile en deux couches, la première est rougeâtre, recherchée pour la confection des briques, et la seconde est jaunâtre et un peu sableuse.

Après les argiles viennent les marnes et les craies blanches et grises du terrain crétacé, qui sont très aquifères ; c'est dans ces couches que l'on rencontre les plus grandes difficultés pour le fonçage des fosses. L'épaisseur est d'environ 100 mètres.

On trouve ensuite les marnes argileuses diversement colorées, imperméables à l'eau dont l'épaisseur est de 40 mètres environ ; et enfin le *tourtia*, formé d'une roche verdâtre, contenant des galets de toute nature enlevés aux roches plus anciennes, et des grains noirs de silicate de fer. Cette dernière couche, qui fait partie du groupe moyen du terrain crétacé, appartient à la division cénomanienne. A Dourges, c'est elle qui s'est déposée la première immédiatement après les terrains anciens, dévoniens ou carbonifères. On la trouve partout avant de pénétrer dans le terrain houiller : son épaisseur est de 1 mètre à 4 mètres.

Cet ensemble de couches porte dans le Pas-de-Calais, comme dans le Nord, le nom de morts-terrains; le caractère le plus saillant est l'horizontalité ou la presque horizontalité des couches.

Le terrain houiller se distingue bien des morts-terrains et le caractère principal est l'obliquité des couches. Après leur dépôt, qui s'est produit horizontalement, tout l'ensemble a été déplacé au point que certaines couches occupent une position verticale, comme à la fosse de Fléchinelle, et même sont renversées, comme cela a

1. Ludovic Breton, *Etude géologique du terrain houiller de Dourges*, Lille, 1873.

lieu à la fosse Mulot (compagnie de Dourges), aux fosses de Billy et de Méricourt (compagnie de Courrières), aux fosses de Liévin n° 1 et n° 2.

Le terrain houiller est essentiellement et nettement stratifié ; les couches qui le composent alternent entre elles de différentes manières et à différentes reprises, mais leur ordre de superposition n'est pas toujours le même.

Parmi les accidents remarquables qu'offre ce terrain, il faut citer les fentes plus ou moins inclinées, sinueuses et branchues, qui le traversent assez souvent, et à proximité desquelles les couches de houille présentent un affaissement de 1 mètre, 2 mètres, etc. Il y en a aux mines de Dourges qui ont plus de 100 mètres.

Les couches de houille présentent aussi quelquefois des renflements subits qui leur font acquérir une puissance beaucoup plus grande, ou bien, par un effet contraire et non moins prompt, résultant du rapprochement du toit ou du mur, elles diminuent d'épaisseur au point qu'il n'en reste plus qu'une faible trace, ou qu'elles disparaissent entièrement par suite d'un dérangement quelconque. Dans ce dernier cas on dit que la veine est en crain.

Les grandes veines existent généralement sur plusieurs concessions avec la même épaisseur ou une épaisseur différente ; mais les veinules ou passées disparaissent souvent complètement dans l'intervalle d'une fosse à l'autre ; leur mur et leur toit peuvent se maintenir ou disparaître aussi.

La richesse plus ou moins grande de la houille en matières volatiles peut dépendre de la nature des végétaux constitutifs de cette houille, tout aussi bien que des effets produits par la chaleur propre du globe terrestre. Du reste si la loi est vraie pour des couches éloignées, elle n'est pas toujours exacte pour des couches rapprochées ; on reconnaît même de grandes variations dans une même couche, depuis qu'on a pu suivre une veine sur une grande longueur. Les couches grasses de Bascoup et de Sars-Lonchamps, en Belgique, sont maigres à Fresnes et à Bernissart. Les couches du Grand-Condé, n° 2, de la concession de Lens, exploitées aussi à la fosse Saint-Louis n° 4 de la même Compagnie, sont plus grasses à cette dernière fosse. Aux mines de Dourges, la classification ordinaire se vérifie dans les conditions les plus générales; mais si l'analyse des charbons de chaque veine était faite avec beaucoup de précautions, on rencontrerait sans doute quelques anomalies.

Il est donc possible d'admettre que les plantes de même nature n'entraient pas sur toute la surface de la formation houillère dans la même proportion.

Dans la couche de houille, les végétaux décomposés ont le plus ordinairement perdu leurs formes; mais dans le toit de la couche, c'est-à-dire dans la couche de schistes ou de grès qui recouvre immédiatement la veine quand celle-ci est en position naturelle, on trouve de magnifiques empreintes ayant conservé les formes des végétaux qui ont crû immédiatement après la formation de la couche de charbon et qui, s'ils ne sont pas ceux qui l'ont formée, ont du moins des rapports intimes avec eux et se développaient dans les mêmes conditions climatériques.

Les qualités des différentes espèces de houille du bassin du Pas-de-Calais, varient considérablement comme combustible; on trouve des nuances depuis les houilles les plus grasses jusqu'aux houilles les plus sèches.

Quelquefois la houille présente dans son intérieur une matière (fusain) qui a presque tous les caractères du charbon de bois. Elle se trouve souvent en parties

solides qui se lient intimement avec la houille schistoïde qui les entoure et qui font entendre le même cri que le charbon de bois lorsqu'on veut les rayer dans un sens contraire à la direction des fibres.

A l'approche du tourtia, où se fait l'affleurement des veines, souvent le charbon perd de son éclat, il devient noir comme de la suie, s'écrase sous les doigts; il porte alors le nom de *comaron*. Cette altération provient de ce que, à une époque, le charbon était à la surface du sol et que, sous l'influence des agents atmosphériques, il a changé de nature.

Les couches de houille sont presque toujours accompagnées au toit ou au mur, d'un schiste bitumineux qui s'appelle *escaillage*, et qui forme un ou plusieurs sillons parmi les sillons de charbon de la veine.

Dans les houilles grasses, ce schiste est combustible; aux mines de Dourges, il sert exclusivement au chauffage des générateurs, au chauffage des ouvriers et des pauvres, à qui on en délivre gratuitement une certaine quantité.

Cet escaillage, plus tendre que le charbon et plus facile à travailler parce qu'il se détache mieux, étant formé de petits fragments écailleux, luisants, facilite beaucoup l'abattage de la houille. Certaines veines ne seraient pas exploitables avantageusement sans leur sillon d'escaillage.

Une veine exploitable est souvent accompagnée, à une faible distance, soit au toit, soit au mur, d'une petite veinule mesurant de 0,01 jusqu'à 0,20 et que l'on nomme le *voisin de la veine;* le plus souvent ce voisin reste à la même distance de la veine sur de grandes étendues; quelquefois aussi il se rapproche de la veine et aide à faire la voie; il peut aussi arriver qu'on l'exploite avec avantage en même temps que la veine.

La concession des mines de houille d'Auchy-au-Bois[1] est située sur les communes de Liettres, Rely, Saint-Hilaire, Liérès, Lespesses, Ames, Auchy-au-Bois, Enquin, Estrée-Blanche, arrondissements de Béthune et de Saint-Omer (Pas-de-Calais).

Ses limites renferment une étendue superficielle de 15 kilomètres carrés, 65 hectares.

Les houilles maigres et demi-grasses manquent sur la concession d'Auchy-au-Bois.

Les houilles d'Auchy-au-Bois, disent quelques géologues, sont contemporaines des houilles maigres, puisqu'elles reposent sur le même calcaire, mais elles sont de nature différente, parce que la végétation n'était pas la même sur toute la surface en formation.

La végétation, suivant M. Ludovic Breton, est, en effet, fort différente, et l'on ne trouve à Auchy-au-Bois, que fort rarement des lépidodendrons et des sigillaires, si abondants dans les charbons maigres et demi-gras; parmi les fougères, on n'a trouvé de commun avec Meurchin que le *Lonchopteris rugosa*.

On remarque dans le Pas-de Calais, là où on peut tracer un méridien à travers toutes les natures de charbon, d'Hénin-Liétard à Carvin, par exemple, que la proportion de houille augmente en s'élevant dans la formation, qu'elle est de :

2,94	pour 100 mètres de terrain houiller dans le faisceau demi-gras;			
3,07	—	—	—	gras;
4,06	—	—	—	très gras.

1. Ludovic Breton, *Etude stratigraphique du terrain houiller d'Auchy-au-Bois*. Lille, 1877.

Et ce dernier chiffre est dépassé dans le faisceau des houilles sèches à longue flamme; tandis qu'il est à peine de 2 pour 100 dans le faisceau des houilles maigres, et dans le bassin du Nord les 500 mètres de la base sont même stériles.

Or, sur les concessions de Fléchinelle, d'Auchy-au-Bois, de Ferfay et de Marles, on constate la proportion la plus forte, et à Annezen, à Meurchin, à Carvin, à Ostricourt, la proportion la plus faible. Il paraît donc bien légitime de relier les veines d'Auchy-au-Bois à la partie supérieure de la formation houillère, puisque la proportion de houille correspond à la proportion de houille reconnue dans le faisceau des houilles sèches à longue flamme. M. Breton a, en outre, montré que la végétation fossile est celle de la partie supérieure du bassin belge. Tout vient donc prouver que les veines de charbon maigre ne viennent pas à Auchy-au-Bois avec une nature différente. Le fond du bassin, suivant son axe, avait une pente à l'est, et les couches houillères, à mesure qu'elles se formaient, gagnaient le rivage à l'ouest. Il y avait néanmoins des parties du fond du bassin sensiblement horizontales, par exemple pour la portion comprise entre les deux puits n° 1 et n° 2 d'Auchy-au-Bois.

Le bassin du Pas-de-Calais (fig. 59) est un des plus riches bassins de France. Aussi l'étudie-t-on dans ses moindres détails pour reconnaître ses limites réelles.

Ce qui frappe tout d'abord à l'aspect de la carte du bassin du Nord et du Pas-de-Calais, ce sont les cinq bandes parallèles, le terrain dévonien formant les deux bandes extrêmes, le terrain carbonifère formant les deux autres bandes, comprenant entre elles la bande centrale, qui est le terrain houiller. En outre, au nord du bassin on trouve l'ordre naturel de formation, dévonien à la base, carbonifère dessus, puis houiller, ces trois terrains ayant pente au sud; au midi, avec pente de même sens, on trouve houiller, carbonifère ensuite et dévonien. Il y a donc renversement en masse dans cet ensemble qui a pris la forme d'U inclinés s'emboîtant les uns dans les autres, l'U central serait le terrain houiller, le second U serait le calcaire carbonifère, et le troisième U serait le terrain dévonien. La formation de cet U incliné au sud est un des principaux mouvements qu'a subis le bassin. Les couches carbonifères et dévoniennes si profondes se sont relevées au nord et au sud et sont revenues à la surface. Quant à l'existence de cet U incliné au sud, elle ne peut être mise en doute, puisqu'il suffit de lire la coupe passant par les fosses d'Aniche, ou celle de la fosse Mulot, Compagnie de Dourges, ou encore celle du n° 4 de la Compagnie de Nœux; si d'autres accidents ne s'étaient ensuite produits, cet U incliné au sud serait la forme toute simple qu'affecterait le bassin; dans l'une seraient les charbons formés les derniers, au nord de cet axe, la série grasse, demi-grasse qui existerait au sud dans le même ordre. Mais les choses ne se passent pas avec cette simplicité, et plusieurs anomalies s'observent immédiatement :

1° L'absence d'affleurement des houilles demi-grasses au sud du bassin houiller du Nord et du Pas-de-Calais ;

2° La faible largeur de la bande carbonifère du sud, et même sa disparition complète en certains points de la carte du bassin ;

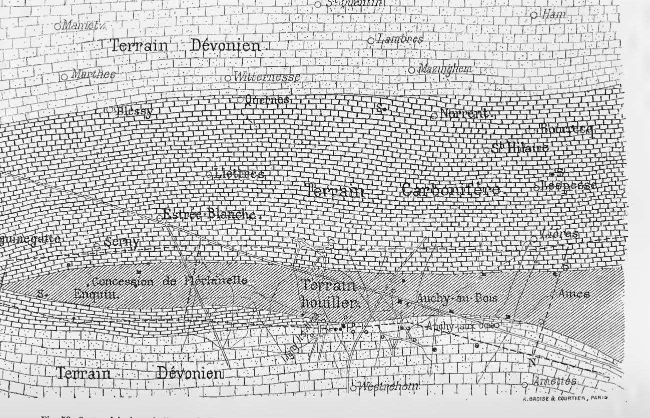


Fig. 59. Carte géologique de l'ouest de la zone houillère du Pas-de-Calais, échelle de 1/80000. — D'après M. Breton.

5° L'absence d'affleurement au sud du dévonien supérieur, et même quelquefois du dévonien moyen; il y a alors contact du dévonien inférieur en place avec le calcaire carbonifère renversé, et même quelquefois avec le terrain houiller.

Ce sont ces questions, qui depuis longtemps préoccupent les géologues et les ingénieurs des mines, que M. Ludovic Breton a essayé d'expliquer.

La fosse de Couchie-à-la-Tour est la première qui ait démontré l'existence des couches houillères sous les terrains plus anciens de recouvrement. On comprend que ce fait important n'a pas manqué d'explication. La coupe par le travers des bancs a montré le calcaire de recouvrement restant sensible à la même distance des veines, et, devant cette apparence de concordance et de stratification, on a hasardé l'hypothèse que ce calcaire de recouvrement était d'une formation postérieure à celle de la houille; on se rappelait la théorie ancienne qui classait le calcaire de recouvrement du terrain houiller d'Hardinghen, dans une formation postérieure. Mais les travaux poussés dans la direction du levant, au niveau de 219 mètres dans la veine dite *Midi*, s'étant rapprochés du calcaire et l'ayant même rencontré, on ne pouvait plus admettre la concordance de stratification, et la théorie était ruinée. Ces terrains anciens ont été respectés sur tous les points où on les a touchés; on craignait de trouver de l'eau; aussi ne put-on déterminer ni leur nature ni leur allure.

Vers le même temps on creusait la fosse de Courcelles-lez-Lenz; ce puits a rencontré, à 134 mètres de profondeur, un calcaire en couches inclinées de 35° au sud; on a pénétré dans ce terrain jusqu'à 205 mètres; à cette profondeur, la roche étant trop dure, les exploitants, ignorant quand on en sortirait, se dirigèrent en galerie horizontale, à travers bancs au nord, vers un sondage qui avait trouvé de la houille; à 55 mètres dans cette galerie, on atteignit le terrain houiller, dont les couches avaient 45° d'inclinaison moyenne au sud; elles étaient séparées du calcaire par une faille ayant aussi 45° d'inclinaison au sud; mais il a été démontré que cette surface de contact diminue d'inclinaison en profondeur, puisqu'à 228 mètres la faille a été traversée dans la fosse, ce qui donne une pente de 22° 1/2 au sud. A 205 mètres du puits, dans le travers banc, une veine de $0^{m},80$ en un sillon, inclinée de 45° au sud, fut rencontrée; elle est, dit-on, en position naturelle, soit au toit, soit au mur, mais d'après la direction de la faille qui, aux mines de Dourges, sépare les terrains en plan des terrains renversés, l'auteur dont nous analysons le mémoire est porté à croire qu'au niveau de 205 mètres, la veine de $0^{m},80$ est renversée.

Ces intéressants travaux démontraient donc que la limite sud de la zone houillère, telle qu'elle est tracée au niveau du tourtia, n'est pas la vraie limite, mais bien l'affleurement d'une faille inclinée au sud, sous laquelle s'enfoncent les couches du grand bassin.

Les conditions étant exactement les mêmes à Cauchie-à-la-Tour qu'à Courcelles, les mêmes conclusions y sont applicables, et on peut alors généraliser et suivre la faille sur son parcours. Quittant Courcelles, elle pénètre plus ou moins dans le terrain houiller, laissant à la zone une grande largeur sur le méridien de Liévin à Meurchin, entrant très fort sur la concession de Bully-Grenay, s'écartant sur la concession de Nouy, puis rentrant de plus en plus sur les concessions de Bruay, de Marles, de Ferfay, d'Auchy-au-Bois, et, après Fléchinelle, pénétrant si avant qu'elle

entame le calcaire du nord, base du terrain houiller; elle continue ensuite, avec la même direction, jusque dans le bassin du Boulonnais, et limite au sud la bande houillère d'Hardinghem, appelée Petit Bassin des Plaines.

Cette faille est évidemment postérieure au mouvement qui a produit le renversement des couches de transition houillères, carbonifères et dévoniennes, en un mot, à la formation de l' U incliné : tantôt, comme au sud d'Aniche, elle coupe la branche méridionale de l' U, de manière que les veines du nord ne viennent pas affleurer au sud, mais s'arrêtent à la faille; tantôt, comme à Courcelles, elle passe si près de l'axe de l' U qu'on ne trouve qu'une faible épaisseur de terrain renversé avant de pénétrer dans les terrains en place. A Chauchie-à-la-Tour, elle passe dans la branche nord de l' U et ne rentre dans la branche sud qu'à la fosse n° 4 d'Auchy-au-Bois.

Pour déterminer son effet, il est nécessaire d'étudier ce qui se passe plus au sud encore. Tous les géologues sont d'accord, et il n'y a aucun doute à cet égard, que ce que l'on observe en Belgique, entre le plateau du Brabant et celui des Ardennes, c'est-à dire entre deux bassins carbonifères séparés par la crête du Condros, existe aussi dans le Pas-de-Calais.

Ces deux bassins sont séparés par la ligne des sommets dévoniens de Saint-Nazaire, Rebreuve, Pernes, Bailleul-lez-Pernes, Febvin, Fléchin, etc.

Celui du nord, ou bassin de Namur, se continue chez nous et s'appelle bassin carbonifère de Valenciennes; celui du sud, ou bassin de Dinant, vient passer à Avesnes, Cambrai, Saint-Pol, Hesdiu, Montreuil.

Le bassin carbonifère de Valenciennes a, à sa partie supérieure, une très grande épaisseur de terrain houiller, contenant un très grand nombre de couches de houille. Le deuxième, celui du sud, est, au contraire, très pauvre; il ne renferme que quelques taches de terrain houiller, telles que celles de Taixnières et d'Aulnoye.

Pourquoi l'un, quoique plus étroit, est-il si riche et l'autre, si large, est-il pauvre? On a jusqu'ici constaté le fait sans l'expliquer. Or, en supposant des falaises d'une certaine hauteur dans le calcaire carbonifère, on explique facilement l'absence de terrain houiller dans le bassin de Cambrai, Saint-Pol, etc. Il suffit pour cela que les houilles grasses aient eu pour limite sud de formation une falaise appelée aujourd'hui, en Belgique, Crête du Condros, et la végétation houillère n'aurait gagné le haut de cette falaise qu'en de très rares endroits, comme à Taisnières et à Aulnoye, et sans doute en quelques autres endroits qui nous sont cachés par les masses de terrains. Ces taches houillères feraient donc partie des dernières formations, quoique reposant sur le calcaire carbonifère.

C'est en effet ce qu'a reconnu M. Cornet dans les déblais d'un puits creusé à Aulnoye.

Le sol carbonifère aurait eu la figure ci-contre (fig. 60) avant que commençât la formation houillère.

Plus tard, la pression du sud contre le nord fit prendre à tout cet ensemble une

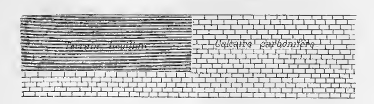


Fig. 60. — Schéma montrant la disposition originelle du terrain houiller du Pas-de-Calais. D'après M. Breton.

autre forme que la synthèse permet de déterminer approximativement et qui serait comme celle ci-dessous (fig. 61).

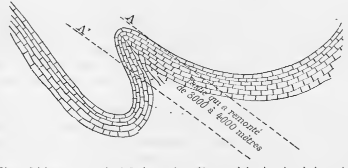


Fig. 61. — Schéma montrant les inflexions qui ont dû se produire dans le calcaire carbonifère du Pas-de-Calais. — D'après M. Breton.

Les mêmes lignes, qui avaient autrefois cédé après la formation du calcaire carbonifère et qui formaient les falaises, cédèrent de nouveau. Ce sont des lignes de moindre résistance et la falaise devient la grande faille A ou crête de Condroz.

Dans le bassin du Nord et du Pas-de-Calais il se produisit, en même temps, une autre faille A′ presque parallèle à la faille A et les terrains compris entre les deux failles remontèrent, sous l'influence de la poussée, de 3 à 4000 mètres. C'est la partie de terrain houiller cachée sous les failles que M. Ludovic Breton appelle, dans le Pas-de-Calais : *Prolongement au sud de la zone houillère.*

Il a donné la figure d'une coupe en travers de cet ensemble (fig. 62).

On voit que, selon que A est plus ou moins rapproché de A′, les couches renversées du dévonien supérieur ont de moins en moins de largeur à l'affleurement et le dévonien inferieur, en place du bassin de Dinant, peut même être en contact avec le calcaire carbonifère renversé du bassin de Namur, qui est lui-même en contact avec le terrain houiller. Un sondage pourrait traverser ces trois terrains.

C'est en partant de cette étude que les exploitants d'Auchy-au-Bois ont voulu reconnaître si, réellement, sur leur concession, ce que jusqu'ici on a appelé la

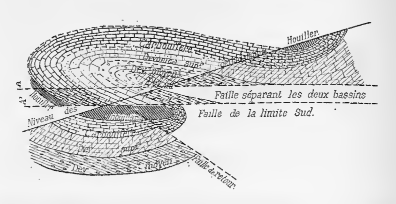


Fig. 62. — Coupe théorique en travers du bassin du Pas-de-Calais. — D'après M. Breton.

limite sud de la zone houillère, reculait en profondeur; c'était pour eux d'une importance capitale, car la position la plus avantageuse pour le creusement d'une nouvelle fosse, n'était pas sur l'arc de cette zone houillère, comme on l'avait cru jusqu'ici, mais bien en un point le plus rapproché du bord méridional; on ne rencontrait ainsi le calcaire inférieur aquifère qu'à la plus grande profondeur possible et on évitait de traverser les terrains de recouvrement qu'on ne connaît pas encore assez.

Le 11 février 1873, un premier forage fut établi au sud, nº 15; il rencontra le terrain dit dévonien supérieur, à 131 mètres de profondeur, entra ensuite à 168m,50, dans un terrain dolomitique appartenant à la partie inférieure du terrain carbonifère; le renversement pouvait être supposé; mais ne sachant quand on atteindrait le terrain houiller, le 5 septembre 1873, on fit un second sondage à 170 mètres au nord du premier, tout en continuant celui-ci. Ce deuxième sondage atteignit, à 148 mètres de profondeur, un schiste noir à phtanites, rempli de polypiers qui se relie au calcaire à polypiers du Boulonnais, base du calcaire du haut banc à *Productus Cora*, de la formation carbonifère, alternant, dans ce pays, avec des bancs de dolomies.

Au bout de quelques mètres, on put déterminer la pente des terrains traversés à chaque sondage; elle était d'environ 30º au sud.

Le premier sondage, à 215 mètres, allait seulement rencontrer les terrains du deuxième, et on ignorait la pente et l'affleurement de la faille limite sud; on résolut de l'arrêter, et, le 2 février 1874, on reporta le matériel 70 mètres au nord du second, qui marchait activement et qui, après 22 mètres de schistes noirs à phtanites, traversa la faille, entra dans un mélange de schistes et de calcaire carbonifère et, à 185 mètres, recoupa une veine de charbon. Il était à 191m,40, dans des schistes houillers, quand le troisième sondage atteignit le terrain houiller à 146 mètres de profondeur, immédiatement sous le tourtia; ils furent alors arrêtés tous deux.

Le succès était donc complet.

Il y a, par conséquent, de grandes réserves de houille au midi de l'affleurement de la grande faille (autrefois limite sud du bassin); ces réserves ne sont autres que la continuation du bassin actuel, accessible avec les moyens dont dispose l'art des mines, augmentant d'importance en profondeur, puisque, à 1000 mètres, la limite ancienne est reculée de plus de 2000 mètres sur les méridiens de Cauchy-à-la-Tour et de Courcelles.

Le complément du bassin qui a remonté entre les deux failles, a formé pendant longtemps une véritable montagne, que les agents atmosphériques ont ensuite dénudée, tout le temps qu'ont duré les formations permienne, triasique et jurassique.

A la fin de la formation du terrain crétacé inférieur, le sol avait à peu près le relief que nous lui trouvons aujourd'hui sous le tourtia. Enfin, le tourtia s'est déposé, puis les différentes couches crayeuses qui ont caché à l'homme ces immenses richesses.

Une partie du massif houiller d'Auchy-au-Bois a été renfoncée assez fortement par la faille dite de retour, au midi de laquelle les couches se retournent sous forme d'un U; puis le tout fut coupé en sifflet par la faille de la limite sud, et la partie séparée est remontée sur le plan de cette faille à une grande hauteur, elle s'y trouve retournée et recouverte par le terrain carbonifère, qui a suivi le même mouvement ascendant en s'appuyant sur la faille, et ce dernier recouvert lui-même par le terrain dévonien. Les érosions n'ont plus laissé (au méridien de fosse n° 3) que la partie inférieure du calcaire carbonifère H_1 qui fait suite au dévonien supérieur. C'est ce que montre par exemple la figure 43.

Du massif houiller primitif d'Auchy-au-Bois, il n'est resté que 600 mètres, au nord du cran de retour, mais on ignore combien d'épaisseur de terrain houiller cette faille a renfoncé. Néanmoins, par la nature des houilles et le grand nombre des veines, le gisement d'Auchy-au-Bois est assez important pour permettre d'espérer une production considérable pendant plusieurs siècles.

Le bassin d'Auchy se prolonge au sud de 4000 mètres au moins; mais la profondeur pour atteindre le terrain houiller augmente en s'éloignant au sud.

Ces accidents, sur une grande échelle, se rencontrent aussi dans le terrain houiller de Valenciennes et y produisent des effets analogues; tel est le cas du cran de retour d'Anzin.

Ce cran de retour est une faille sur la surface de laquelle la partie supérieure du terrain houiller est descendue d'une hauteur qui, en certains points, peut être estimée à 1500 mètres, à en juger par la différence de nature des houilles que l'on trouve des deux côtés au même niveau. Ainsi, à Anzin, tandis qu'au nord de la faille les houilles renferment 18 à 20 pour 100 de matières volatiles, au sud, au même niveau, elles renferment 22 à 25 pour 100. Mais, en allant à l'est, les veines exploitées aux fosses Saint-Louis, du Moulin et de la Bleuze-Barne, qui ne sont qu'à 300 mètres au nord du cran de retour, s'en écartent de plus en plus, et, au puits Thiers, elles sont à plus de 100 mètres.

Dans l'intervalle, il se place des couches supérieures renfermant 20 à 22 pour 100 de matières volatiles.

Les veines, au sud de la faille de retour, sont exploitées à la fosse du Chaufour



Fig. 63. — Coupe du terrain houiller d'Auchy-au-Bois, d'après M. Breton.

et, en allant aussi à l'est, elles viennent buter à cette faille. Ce sont des couches inférieures qui vont de plus en plus loin vers l'est. De sorte que, vers Annaing, en entrant sur la concession de Crépin, il doit y avoir, des deux côtés du cran de retour, des houilles de même composition, c'est-à-dire que l'effet de la faille n'a plus là qu'une faible importance.

En Belgique, le cran de retour ne passe pas, et les combles sud, quoique en zigzag, sont la continuation des combles nord, sans solution de continuité.

Vers l'ouest, en venant vers Douai, le cran de retour diminue aussi d'importance et il est nul sur la concession d'Aniche, où les veines prennent en coupe la forme d'un U incliné au sud.

C'est dans la baie formée par les concessions de Denain et de Douchy que le cran de retour produit le plus d'effet.

Comme beaucoup d'ingénieurs, M. Ludovic Breton avait été frappé depuis longtemps de la position du bassin d'Hardinghen sur le prolongement rectiligne du bassin d'Auchy-au-Bois et de Fléchinelle, et il en concluait qu'il ne serait pas impossible qu'il se trouvât du terrain houiller dans l'espace compris entre Fléchinelle et Hardinghen ; il constate que c'est dans le travail de M. Gosselet qu'il trouva les premiers matériaux pour essayer de relier le bassin du Boulonnais avec celui dit du Pas-de-Calais.

D'abord, il fut frappé des caractères de la bande étroite dite des Plaines d'Hardinghen; c'était la représentation du sommet de l'angle de la base du terrain houiller, avec la faille de la limite sud, en faisant passer cette faille à une faible hauteur au-dessus de cette base. On trouve dans ce petit bassin des Plaines : d'abord comme à la fosse n° 5 d'Auchy-au-Bois, immédiatement sous la faille de la limite sud, des amas de charbon mélangés de schistes houillers et de calcaire carbonifère, et, un peu plus bas, les couches houillères, avec leur inclinaison au sud, reposant aussi en stratification concordante sur le calcaire carbonifère et s'enfonçant sous la grande faille de la limite sud, au midi de laquelle viennent s'appuyer les terrains carbonifères, relevés à la surface et renversés lors du grand mouvement qui a produit l'U incliné.

En un mot, la coupe du bassin des Plaines est une réduction de celle d'Auchy-au-Bois. La partie appelée bassin d'Hardinghen, qui est celle qui fournit une véritable exploitation, a été plus difficile à étudier.

Les couches houillères y ont une inclinaison de 20° au nord-ouest; elles viennent buter, au nord, contre une faille presque verticale (70° d'inclinaison au sud) ; mais le fait le plus extraordinaire, et qui a reçu tant d'explications, c'est que ce gisement houiller est coupé en sifflet, suivant un angle de 12° au nord, par une faille sur laquelle reposent des calcaires carbonifères augmentant d'épaisseur vers le nord, et que les trois fosses *du Souich*, *Renaissance* et *Providence* ont dû traverser avant de pénétrer dans le terrain houiller. Il est reconnu aujourd'hui, sans contestation, que ce calcaire, appelé calcaire Napoléon, est d'une formation antérieure à celle du terrain houiller, et est du même âge que les couches du même nom reconnues sur d'autres points et dont le niveau géologique est compris entre le terrain dévonien et le terrain houiller.

En prolongeant la faille de séparation du calcaire avec le terrain houiller, elle vient rencontrer la faille sud, prolongée aussi, du bassin des Plaines; si, de ce point

de rencontre comme centre, nous faisons faire un mouvement de rotation, de manière à amener les deux failles dans le prolongement l'une de l'autre, nous remarquons que les différentes couches, qui encaissent le bassin d'Hardinghen, viennent occuper des positions qui sont le prolongement des couches encaissantes du petit bassin des Plaines, et l'on obtient un ensemble qui représente le bassin d'Auchy-au-Bois, en supposant la faille de la limite sud entamant ce bassin à 200 mètres de hauteur, par rapport à la base.

Si le mouvement de bascule au nord-ouest, qui a brisé la faille de la limite sud, n'avait pas eu lieu, il ne serait resté du gisement d'Hardinghen que le petit bassin des Plaines, car le niveau final des dénudations postérieures est plus bas que la base de la formation houillère avant le mouvement.

La faille, qui arrête au nord le pied des veines, se comporte exactement comme la faille de retour dans le gisement d'Auchy-au-Bois ; elle y joue le même rôle; cette faille, en allant à l'ouest, coupe en biais les couches inférieures, dévoniennes d'abord, puis carbonifères : sur Ferques, les directions des couches s'écartent assez au nord pour laisser une ligne de terrain houiller. Le long de cette ligne et dans la faille il s'y trouve même des amas de charbons qui ont été exploités autrefois aux puits de Fergues et de Leulinghen.

Les fosses d'Hardinghen, comme celles d'Auchy-au-Bois, exploitent les veines inférieures de leur gisement. Or, la cinquième couche en partant de la base fournit un charbon pour la forge, qui lui a fait donner le nom de Maréchale par les deux Compagnies. C'est le nom que cette veine porte à Hardinghen depuis plus de 50 ans et à Auchy-au-Bois depuis 18 ans. Si l'on n'en conclut pas que ce soit la même veine, il faut admettre du moins que les charbons sont de même nature. Enfin, sur une épaisseur de 160 mètres de terrain houiller, comme à la fosse Providence, on trouve 10 veines; même nombre à Auchy-au-Bois pour les 160 mètres de la base.

Le caractère principal est fourni par les empreintes. Chaque couche de houille a ses empreintes à elles propres, ou du moins certaines empreintes dominent dans chaque couche. Les empreintes d'Hardinghen sont identiques à celles d'Auchy-au-Bois.

Elles appartiennent toutes aux trois grandes familles des Calamites, des Astérophyllites et des Fougères. La houille d'Hardinghen fait donc partie des formations supérieures du terrain houiller.

Pendant que l'on opérait au delà de Dourges, la conséquence du premier sondage était interprétée et mise à profit en deçà, et ce fut à l'Escarpelle, près de Douai, que la première fosse fut établie sur le prolongement de la zone houillère. Les sondages, les puits se multiplièrent chaque année, les concessions de Dourges, de Nœvy, de Courrières, de Lens, de Bully, etc., succédèrent à celle de l'Escarpelle, et en 10 années, c'est-à-dire vers 1855, le bassin du Pas-de-Calais était entièrement délimité.

La puissance des couches exploitées varie de $0^{m},50$ à $1^{m},20$, la moyenne paraissant se rapprocher de $0^{m},80$. Dans la fosse n° 2 de Lens, la veine Beaumont atteint une puissance de $2^{m},20$.

Les houillères d'Hardinghen, dans le Boulonnais, exploitées sur un soulèvement du terrain houiller et des calcaires carbonifères à travers les terrains juras-

siques et crétacés, n'ont point d'importance valable par leur production, mais les faits géologiques mis en évidence par leurs travaux en ont une fort grande.

M. Gosselet pense que le terrain houiller peut exister entre Fléchinelle et Hardinghen et passer ensuite sous le Pas-de-Calais pour se relier avec les couches houillères de Bristol et du pays de Galles. Contrairement à l'opinion de MM. Prestwich et Godwind-Austen, l'auteur croit que la partie souterraine du terrain houiller, en Angleterre, doit être recherchée, non pas au nord de Londres, mais au sud, dans le Kent, le Sussex et le Hampshire. Il rappelle que MM. Briart et Cornet ont signalé l'analogie des houilles de Bristol avec celles de la Belgique.

M. Potier[1] pense que le terrain houiller du Nord, au lieu d'être absolument concordant avec le calcaire carbonifère, est en stratification transgressive relativement à ce dernier. Remarquant que l'accumulation de plusieurs couches de houille sur un même espace suppose un affaissement correspondant du sol, il ne croit pas qu'un tel mouvement puisse s'accomplir avec une régularité absolue : de là ces phénomènes, tels que la réunion de deux couches de houille en une seule. Le calcaire a été rencontré tout près de la houille à Haisnes et à Meurchin ; mais, plus à l'est, il s'intercale entre ces deux formations des grès stériles et, du côté de Mons, elles sont séparées par une épaisseur assez considérable de schistes à possidonies. Il semble donc qu'il y ait eu un envahissement successif du bassin, vers l'ouest, par les eaux qui ont déposé les grès et les schistes houillers et, en même temps, une diminution dans le nombre des couches de houille que l'on peut espérer rencontrer.

Haute-Saône. — Le bassin de Ronchamps (fig. 64) est seulement indiqué à la surface par l'affleurement d'un dépôt de grès et de schistes houillers, d'environ

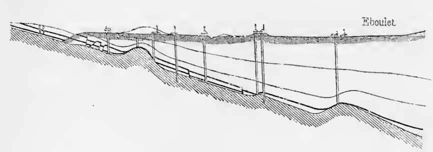


Fig. 64. — Coupe géologique du bassin houiller de Ronchamps, d'après M. Burat.

50 mètres d'épaisseur, formant de l'est à l'ouest une zone d'environ 3 kilomètres de longueur. Les alternances de grès et de schistes houillers s'enfoncent sous le grès rouge pénéen, qui sur ce point se lie tellement au grès houiller, qu'on ne saurait préciser la ligne de séparation des deux terrains.

Deux couches de houille affleuraient dans ces alternances de grès et de schistes; on les exploita, et le réseau des travaux souterrains ne tarda pas à pénéter sous les grès rouges superposés. Mais bientôt ces travaux vinrent se heurter contre une

1. *Association française pour l'avancement des sciences*, 1874, p. 378.

saillie du terrain de transition qui parut limiter l'inclinaison du terrain houiller; les exploitations languirent, l'ingénieur, désespéré par l'insuccès, se suicida, et les mines furent vendues en 1842 à une société nouvelle qui reprit les travaux.

Le soulèvement du terrain houiller qui interrompait l'inclinaison des couches par un barrage parallèle à la direction générale du terrain fut heureusement franchi, et l'exploitation trouva au delà un vaste champ qui lui permit de développer rapidement ses produits, qui dépassent aujourd'hui 300 000 tonnes.

Le bassin de Ronchamps est actuellement reconnu sur une étendue de 4 kilomètres en direction, et de 1800 mètres suivant l'inclinaison; c'est une surface utile d'environ 600 hectares. Toute cette surface ne présente pas, il est vrai, des conditions constantes sous le rapport de la richesse.

On connaît dans le bassin de Ronchamps trois accidents principaux.

Le premier, dirigé de l'est à l'ouest, c'est-à-dire parallèle à la direction des couches, a limité les exploitations antérieures à 1844, et n'a été franchi qu'en 1845 par une galerie de traverse. Cet accident présente l'aspect d'un soulèvement qui aurait relevé le terrain houiller en comprimant et supprimant les couches de houille sur une largeur de 200 mètres.

Le second soulèvement a été reconnu dans le nouveau champ d'exploitation; il est oblique au précédent, passe à peu de distance à l'est du pont Sainte-Barbe, et se dirige sur le puits Notre-Dame d'Eboulet. Il a été reconnu sur une longueur de 2 kilomètres, avec une largeur moyenne de 250 mètres; il rend ainsi stérile une surface de 50 hectares.

Un troisième accident est un soulèvement parallèle au premier.

Les couches sont relevées et comprimées; leur direction subit des inflexions et des contournements; la houille devient nerveuse au point de ne plus être qu'une roche charbonneuse et bitumineuse, chargée de pyrites. Longtemps avant cette transformation, elle est souvent pénétrée de gaz et surtout de grisou.

Ce sont également des compressions postérieures qui, sur beaucoup de points, ont réduit la puissance normale de la couche. A Eboulet et au sondage du Pré, placé en avant, cette couche n'a que 2 mètres et 1m,80 de puissance.

Sur plusieurs points, la houille semble avoir éprouvé les altérations qui résulteraient d'actions métamorphiques; au puits Sainte-Barbe, les roches dioritiques ont, en effet, pénétré dans les roches de transition, en les modifiant profondément, et même elles arrivent à peu de distance des couches de houille.

Calvados. — On doit à M. Vieillard[1] une étude descriptive du terrain houiller de Basse-Normandie qui comprend les deux concesstions de Littry près de Caen et du Plessis, à 20 kilomètres de Littry vers l'ouest. L'auteur démontre par une série de coupes et de sondages que ces deux gisements font partie d'un seul et même bassin aligné est-ouest et déposé dans un pli des terrains anciens; ce bassin se referme à l'est, mais du côté opposé il reste ouvert et s'enfonce sous les terrains jurassiques du Cotentin.

Le bassin houiller de Basse-Normandie est recouvert en parfaite concordance par des grès rouges et des calcaires où Dalimier a signalé des poissons permiens. Il

1. *Terrain houiller de Basse-Normandie*, 1874.

appartient donc certainement à la formation houillère supérieure, laquelle se relie partout au permien, tandis qu'elle est séparée du terrain houiller inférieur par une

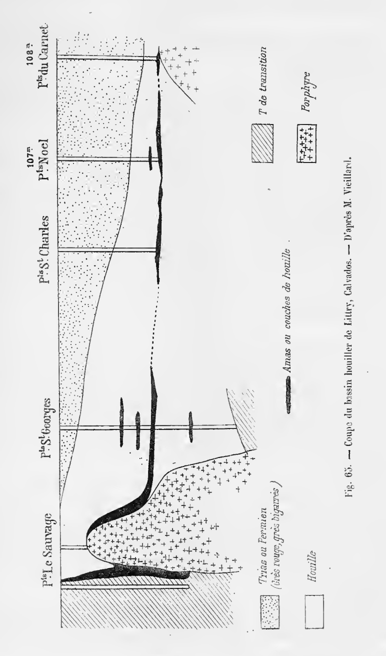


Fig. 65. — Coupe du bassin houiller de Littry, Calvados. — D'après M. Vieillard.

discordance de stratification très marquée. Le bassin de Littry (fig. 65) contient une

couche de houille de $1^m,50$ d'épaisseur et de bonne qualité qui a donné lieu autrefois à des exploitations notables. Elle a été exploitée sur une longueur de plus de 1500 mètres et une largeur de plus de 500.

Saône-et-Loire. — La surface plane du bassin d'Autun contraste avec l'encaissement montagneux qui le limite de tous côtés; la partie centrale est recouverte par les dépôts houillers.

Le terrain houiller affleure surtout vers le périmètre, où il se trouve relevé sur les roches schisteuses et granitiques; il est exploité à Épinac, au grand Moloy, à Sully, etc. On a également reconnu quelques couches de houille de peu d'importance sur les premières pentes du Morvan, vers Chambois et la Selle.

De tous ces points explorés, un seul a pris une grande importance dans la production houillère, c'est Épinac, dont les exploitations se sont développées dans une sorte d'anse ou de golfe qui pénètre l'encaissement primitif.

Le bassin du Creusot et de Blanzy est très étendu; sa forme est assez nettement dessinée par les encaissements granitiques que donnent les affleurements latéraux. L'un de ces affleurements part du Creusot et se continue vers les Petits-Châteaux et Grandchamp, l'autre commence à Saint-Léger-sur-Dheune et suit une ligne à peu près parallèle à la précédente en passant par Montchanin, Blanzy et Montceau-les-Mines. Des affleurements, qui appartiennent en réalité au terrain pénéen, sont marquées entre ces deux lisières, semblant indiquer qu'elles se réunissent en dessous des terrains superposés; et, en effet, les pendages des couches inclinées en sens inverse tendent l'un vers l'autre et le terrain superposé qui les sépare est le trias.

La couche houillère du Creusot, qui semble suivre la configuration du sol, a été brusquement redressée: au nord, elle s'appuie sur le granit soulevé, tandis qu'au sud, elle s'enfonce sous le grès rouge. Elle descend presque d'aplomb jusqu'à 240 mètres de profondeur pour s'étendre ensuite en une nappe ondulée dont l'épaisseur atteint 15 et même 30 mètres. Partout où la houille repose sur le granit, le charbon est maigre et passe insensiblement à l'état d'anthracite; au contact du grès, au contraire, la houille, très riche en gaz, a conservé ses éléments hydrogénés. Maigre ou grasse, elle est d'une pureté extrêmement favorable à la métallurgie.

Divers indices permettent de croire qu'une masse immense, mais profonde, de houille unit les exploitations du Creusot à celles de Montchanin (fig. 65) et à celles de Blanzy, situées à une distance de 20 kilomètres. De tous les sondages faits pour la rechercher, le plus important est celui de la Mouille-Longe, foré de 1855 à 1857, et poussé jusqu'à $911^m,60$. Le foret d'acier s'étant brisé alors, sans que, malgré les efforts faits, il fût possible de le retirer, on dut abandonner le terrain. Toutefois, le terrain houiller a été retrouvé au-dessous des grès bigarrés, à la profondeur de 371 mètres.

A l'origine, on a exploité la couche de houille dans les endroits où elle venait affleurer le sol; mais, depuis longtemps, l'exploitation est entièrement souterraine, hormis sur un point situé au fond de la vallée et appelé le *découvert de la Croix*. Au sommet de la colline, la houille, par une cause accidentelle, a pris feu et brûle lentement, en dégageant çà et là de légères fumées.

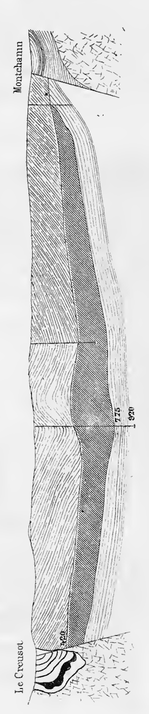


Fig. 66. — Coupe transversale du bassin houiller de Saône-et-Loire. — D'après M. Burat.

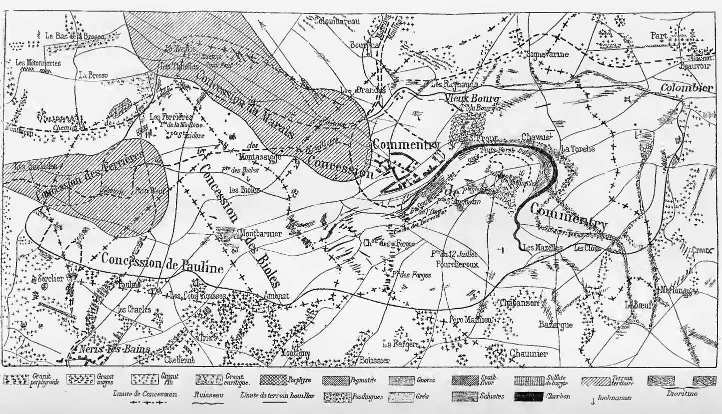


Fig. 67. — Carte géologique du bassin houiller de Commentry. — D'après M. Fayol.

L'extraction, au Creusot, se fait par sept puits creusés autour de la vallée. Les deux principaux, nommés Saint-Pierre et Saint-Paul, ouverts à grandes sections, fournissent à eux seuls 120 000 tonnes sur les 190 000 que produit la houillère.

Allier. — Le bassin de Commentry (fig. 67) est le premier des bassins de l'Allier. On y exploite une belle couche de 10 à 25 mètres, dont l'épaisseur moyenne peut être évaluée à 14 mètres,

La couche de Commentry (fig. 68) est remarquable par la régularité qu'elle

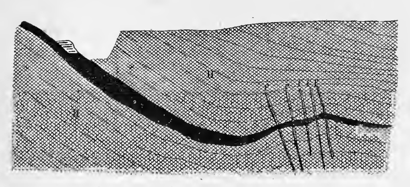


Fig. 68. — Coupe de la grande couche de Commentry. H terrain houiller ; *ffff*, failles. D'après M. Burat.

conserve sur une grande étendue. Le champ d'exploitation embrasse, en effet, une surface d'environ 1500 mètres en direction sur 1000 mètres, suivant l'inclinaison. L'allure, sur cette étendue, est celle d'un bassin demi-circulaire, dont le diamètre en avalpendage est précipité en profondeur par une série de failles.

Dans le bassin de Doyet, l'exploitation se développe d'une manière régulière dans les mines de Bezenet, dont les gîtes puissants donnent lieu à une production qui dépasse 300 000 tonnes.

La houillère de Bezenet a été ouverte sur une masse de houille exceptionnelle par sa puissance, et pendant une longue série d'années, jusque vers 1840, elle consistait principalement en une exploitation à ciel ouvert. Lorsque, en 1845, le développement des forges de Commentry nécessita des extractions plus considérables que celles qui pouvaient être obtenues par cette méthode, les travaux de recherche en profondeur furent poussés avec activité, afin de définir le gîte et d'y établir une exploitation par travaux souterrains.

Le gîte de Bezenet peut être considéré comme une série de couches de houille, très rapprochées, séparées par des schistes et par des gores charbonneux passant à la houille. En certains points, les schistes venant à s'éliminer, les couches de houille se soudent et forment masse, tandis que, sur d'autres points très rapprochés, ce sont les schistes qui se développent et se soudent, en éliminant plus ou moins la houille.

La grande couche autrefois exploitée à ciel ouvert est d'une puissance de 40 à 50 mètres.

Le bassin de la Guienne (Allier), plus connu par les dénominations de mines de

Fins et Noyant, des Gabeliers et du Montet, est triangulaire, avec une base de 4 kilomètres vers Noyant.

Trois couches de houille y ont été reconnues, parmi lesquelles une seule, de 1 à 3 mètres de puissance, a été exploitée à Fins et à Noyant, où elle présentait une allure en chapelet assez accidentée.

Puy-de-Dôme. — Le bassin de Saint-Éloi (Puy-de-Dôme) représente une formation houillère déposée dans un bassin elliptique qui a déterminé trois plis en selle et autant en fond de bateau, le pli saillant du milieu ayant amené à la surface les couches de houille droites et repliées sur elles-mêmes.

L'ensemble des couches dans la partie centrale du bassin représente une épaisseur totale de 14 à 15 mètres de charbon.

On extrait environ 200 000 tonnes.

A Messein, dans la vallée de la Dordogne, on connaît deux couches anthraciteuses d'une puissance de 1 à 2 mètres.

Plusieurs couches de houille ont été reconnues et mises en exploitation dans la bande de terrain houiller, longue d'environ 60 kilomètres, où sont situés ces bassins.

A Bert (fig. 69 et 70), le terrain houiller est réduit à une largeur de quelques centaines de mètres et accidenté par plusieurs trouées de terrains volcaniques, puis il s'élargit sur 2 et 3 kilomètres, et forme le bassin de Modic et Champagnac.

Le bassin de Langeac, dans la vallée supérieure de l'Allier, est isolé au milieu des terrains schisteux et granitiques. Ce bassin elliptique, d'environ 8 kilomètres de longueur sur une largeur maximum de 2 kilomètres, contient, sur une échelle réduite, une reproduction des phénomènes de la formation houillère.

Il est rempli par des alternances de grès et de schistes dont les stratifications ont été fortement comprimées en fond de bateau. A sa partie inférieure, vers le contact des grès houillers avec le gneiss, on a suivi par quelques travaux souterrains de petites couches de houille; mais on n'a pas continué l'exploitation.

Ce bassin présente une particularité remarquable au point de vue des accidents qui ont affecté les dépôts houillers : au nord de Langeac, vers la limite du terrain houiller, un fragment des granits et gneiss encaissants, d'environ 300 mètres de côté, est tombé sur les dépôts houillers, qu'il a recouverts, de sorte que sous une surface de 7 à 8 hectares on a pu exploiter les couches de houille sous les granits superposés.

Le bassin de Brassac est l'un des plus anciennement exploités; les couches de houille y affleurent sur un grand nombre de points.

L'étage inférieur, exploité à la Combelle, contient cinq couches de houille dont les épaisseurs réunies sont de 4 à 5 mètres. Les houilles sont maigres. Les travaux d'exploitation ont mis en évidence l'allure et la régularité des couches; elles sont enclavées à 60 et 70 degrés, et descendent rapidement vers les plus grandes profondeurs du bassin.

Le système moyen, exploité à Grosménil, à Fondary et à la Taupe, occupe le milieu du terrain houiller; il comprend cinq couches, dont les puissances réunies atteignent et dépassent souvent 6 mètres. A la Taupe et à Grosmenil, certains renflements des couches principales atteignent et dépassent 6, 8 et 10 mètres,

Fig. 69 — Carte géologique du bassin houiller de Bert. — D'après M. Durand.

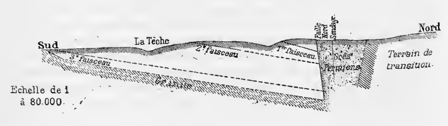


Fig 70. — Disposition générale du bassin de Bert.

mais ces renflements ont lieu aux dépens de la régularité, les étreintes et les conflits occupant des espaces d'autant plus considérables. Les houilles de cet étage moyen sont assez grasses et très flambantes.

L'étage supérieur ne comprend pas moins de dix couches, dont les épaisseurs réunies atteignent 4 et 5 mètres. Les charbons en sont gras, ils sont exploités à Bourbars, au Feu et à Mègo-Caste. Cet étage ne couvre que 4 kilomètres carrés, sur les 55 qui sont à découvert.

Nièvre. — Dans le bassin de Decize, les affleurements de terrain houiller forment un îlot découvert sur une direction d'environ 4 kilomètres et sur 3 kilomètres en traverse. Les couches n'étant inclinées que sous une moyenne de 20 degrés, ces 3 kilomètres de parcours en traverse ne représentent que 600 à 700 mètres d'épaisseur de dépôts consistant en grès et schistes houillers bien caractérisés.

Ces dépôts contiennent une série de huit couches, dont les puissances varient de 1 mètre à $2^m,50$.

L'épaisseur explorée de 800 mètres ne renferme pas plus de 9 à 10 mètres de houille; mais cette houille, régulièrement stratifiée, est dans les conditions les plus favorables à l'exploitation.

Le terrain houiller de Decize s'étend sous de vastes surfaces au-dessous des terrains secondaires; la composition des parties soulevées indique la marche à suivre pour en découvrir les parties utiles.

Loire. — Voici comment Grüner[1] indique les limites et la configuration du bassin houiller de la Loire.

Le terrain houiller de la Loire repose directement sur les terrains cristallins primaires, le gneiss, le micaschiste et le granit, et cela sans trace de terrains paléozoïques entre deux; aussi la superposition est-elle partout complètement discordante. C'est ce que montre par exemple la coupe de la figure 71, qui est prise par le travers de Rive-de-Gier.

Le dépôt houiller de la Loire occupe une dépression à peu près triangulaire, limitée au S.-S.-E. par la chaîne du Pilat; au N.-N.-O. par la chaîne parallèle de Riverie; à l'ouest par les derniers contreforts de la chaîne du Forez.

Au pied du Pilat, le terrain primaire se compose surtout de micaschistes plus ou moins talqueux. La chaîne opposée est principalement formée de bancs de gneiss, et le bord ouest à peu près exclusivement de granit éruptif à mica brun, qui contient toujours des fragments empâtés de gneiss et de micaschiste.

Le bassin houiller s'étend depuis le Rhône à Givors, jusqu'à la Loire au delà de Firminy. Il suit les deux vallées qui longent le pied de la chaîne du Pilat: d'une part, celle du Janon et du Gier, allant de Terrenoire (ligne de faîte entre les deux mers) au Rhône; de l'autre, la vallée de l'Oudène qui va de la Croix de l'Orme à la Loire. La correspondance entre les deux vallées et le bord du bassin houiller n'est pourtant pas complète. Depuis Givors jusqu'à Rive-de-Gier, le dépôt houiller occupe le flanc gauche de la vallée et même plutôt le plateau que le thalweg proprement dit. A partir de Rive-de-Gier, par contre, le bassin houiller coïncide bien avec la

1. *Étude des gîtes minéraux de la France. Bassin houiller de la Loire.* Paris, 1882.

vallée actuelle, si ce n'est au sud; il s'arrête au pied même de la chaîne du Pilat, tandis qu'au nord il monte assez haut contre le flanc de la chaîne de Riverie. A Saint-Chamond il atteint même le sommet du premier chaînon, le mont Crépon (821 mètres).

Au delà de Saint-Chamond, le bassin houiller s'élargit notablement; il se sépare entre deux vallées parallèles, celle du Janon, prolongement direct de celle du Gier, au pied du Pilat, et celle du Langonan, qui monte le long de la chaîne de Riverie, depuis Saint-Chamond, vers Sorbiers. Entre les deux vallées s'élève d'ailleurs une assez

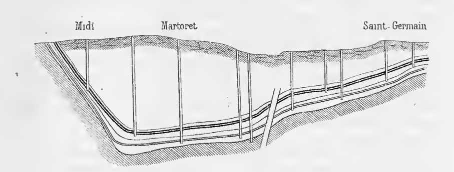


Fig. 71. — Coupe du bassin de Rive-de-Gier. — D'après M. Grüner.

haute crête houillère (671 mètres), le Crêt du Rouzy ou de Saint-Jean-de-Bonnefond.

A la naissance de ces deux vallées on arrive aux cols de Terrenoire (557 mètres) et de Sorbiers (502 mètres), qui tous deux appartiennent à la ligne de partage des eaux de l'Océan et de la Méditerranée. Au delà vient le plateau de Saint-Étienne, le centre même du dépôt houiller. Jusque-là, les deux vallées houillères du Janon et du Langouan, avec le crêt du Rouvigny, situé entre deux, sont rigoureusement alignées comme les massifs anciens du Pilat et de Riverie, entre lesquels le dépôt houiller se trouve emprisonné. Au delà, on constate encore l'influence prédominante de la chaîne du Pilat, dans la vallée de l'Oudène, allant de la Croix de l'Orme à Firminy; mais au nord, où le bassin s'élargit, règne la direction N.-N.-O., S.-S.-E., sensiblement normale à la précédente. Elle se manifeste surtout par quatre vallées parallèles qui correspondent aux plus importantes failles transversales du bassin houiller. Ce sont, en allant de l'est à l'ouest, la partie inférieure de la vallée de l'Izirable, le long du pied oriental du coteau de Montheil; celle du Furens, passant à Saint-Étienne, la plus large des quatre vallées; ensuite celle qui descend de Cluzel à Villards et enfin, la vallée de la Roche-la-Molière, près de la lisière ouest du bassin.

La longueur du bassin est de 46 kilomètres, ou même de 50, si l'on y ajoute le lambeau de Ternay et Communay, sur la rive gauche du Rhône, qui semble bien être le prolongement oriental du bassin de la Loire. Il se pourrait même qu'il allât rejoindre, sous les dépôts secondaires et tertiaires du Dauphiné, le terrain anthracifère des Alpes.

La largeur du dépôt houiller est des plus variables : à Givors, où il surgit brusquement de dessous les alluvions du Rhône, elle est de 1000 à 1500 mètres. Plus

haut, en avançant vers Tartaras et Rive-de-Gier, à Saint-Romain, par exemple, la zone houillère s'amincit parfois à moins de 100 mètres, ou se trouve même complètement coupée en deux par les protubérances du terrain ancien, comme aux Perraux et à la Madeleine. A Tartaras, où la largeur est maximum entre Givors et Rive-de-Gier, elle atteint à peine 250 et 300 mètres.

A partir de Besançon le dépôt se renfle assez brusquement et conserve ensuite une largeur de 2000 à 2500 mètres sur une longueur de 6 kilomètres, c'est-à-dire jusqu'à la grande faille transversale du Darlay, près de la Grand'Croix. Cette étendue de 6 kilomètres, sur 2000 à 2500 mètres de largeur, forme ce que l'on peut appeler le district ou territoire de Rive-de-Gier (fig. 72).

A partir de la vallée du Darloy, nouveau renflement qui se poursuit jusqu'auprès de Saint-Chamond; c'est le district de la Grand'Croix et du Plat-de-Gier.

Auprès de Saint-Chamond, la largeur atteint 6000 mètres. Au delà, où la vallée se divise en deux, comme nous venons de le dire, les deux lisières nord et sud divergent plus encore. Enfin, à Saint-Étienne, la largeur atteint 8000 mètres. Au delà, à la Fouillouse, on arrive au maximum de 12 000 mètres, mesurés entre le sommet et la base du bassin triangulaire, au pied du Pilat.

Depuis ce point, la largeur décroît rapidement. Au Chambon et à Firminy elle se trouve déjà réduite à 5000 mètres; et entre Fraisse et Caruillon le dépôt s'y divise en deux branches parallèles, séparées l'une de l'autre par un promontoire du terrain ancien. La carte d'ensemble du bassin montre que la forme triangulaire, dont nous venons de parler, n'est régulière que le long de sa base; les deux autres côtés sont plus ou moins dentelés, ou plutôt formés d'une série de lignes brisées. La différence entre les deux lisières provient surtout des failles du terrain houiller.

Sans doute à ces irrégularités d'extérieur sont liées les irrégularités des couches parfois sujettes à des renflements considérables. La figure 75 en montre un des exemples les plus nets.

Au pied du Pilat les assises houillères viennent buter contre une énorme faille de direction, qui a redressé les couches et souvent limité les failles transversales. Au nord et à l'ouest, où les bancs du terrain houiller reposent en pente faible sur les strates verticales, ou renversées, du gneiss, le relief, dû aux grandes failles transversales, s'est plus ou moins conservé malgré les dénudations postérieures dont on constate partout les traces évidentes.

Le triangle de 46 kilomètres de longueur sur 12 kilomètres de hauteur embrasse 27 600 hectares; mais, grâce aux dentelures de la lisière nord, la véritable superficie du dépôt houiller entre la Loire et le Rhône n'est que de 20 690 hectares.

Le bassin de la Loire constitue en réalité un bassin unique, malgré les locutions encore employées de bassin de Rive-de-Gier, bassin de Saint-Étienne, bassin de Firminy, etc.

Mais ce bassin unique comprend six étages. Plusieurs parties du bassin ne renferment qu'un certain nombre de ces étages, parfois une ou deux seulement.

La nature des charbons de la Loire varie d'un point à un autre du bassin sous l'influence de trois causes différentes :

La situation spéciale du district, la profondeur relative des couches dans chaque district en particulier, et, dans une même couche, la distance plus ou moins grande en aval des affleurements,

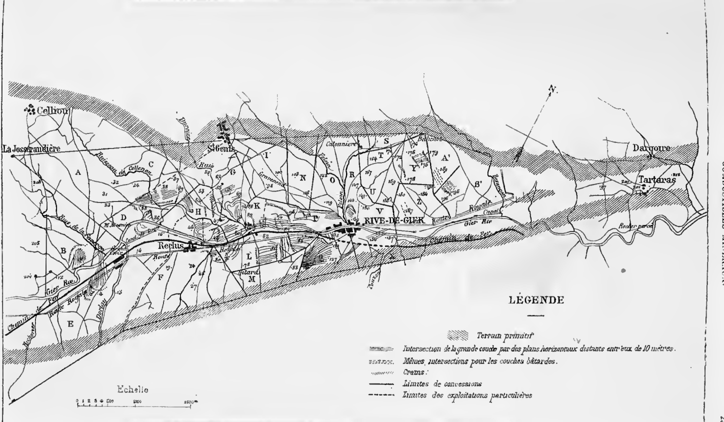


Fig. 72. — Topographie extérieure et souterraine du bassin houiller de Rive-de-Gier. — D'après M. Meugy.

Certains districts fournissent surtout des houilles à longue flamme, tandis que d'autres sont caractérisés par les charbons de forge ou par les charbons gras à courte flamme, et cela, jusqu'à un certain point, à tous les niveaux et dans toutes les couches d'un même district. Ainsi, presque toutes les couches, sauf les plus inférieures des districts de Firminy, de Montrambert et de la Béraudière, donnent des

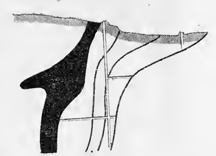


Fig. 73. — Coupe transversale de la grande couche et des trois brûlantes à la Ricamarie (Loire). D'après M. Burat.

charbons à gaz, ou du moins des houilles grasses à longue flamme, riches en bitume et pauvres en coke, comme le prouvent les nos 1 à 12 et 15 à 25, des faisceaux moyen et inférieur de Saint-Étienne, qui ne laissent à la calcination que 0,59 à 0,64 de charbon fixe.

De même, au bois d'Aveize, toutes les couches du faisceau supérieur sont remarquables par leur éclat vif et la structure fibreuses de la houille. A ces caractères correspondent une forte proportion d'hydrogène et une faible dose d'oxygène de plus, la distillation produit un foisonnement extraordinaire d'essences légères fort abondantes. La proportion de coke varie dans ces houilles de 0,64 à 0,67.

Dans deux districts, assez éloignés l'un de l'autre, à l'extrémité orientale de Rive-de-Gier, et dans la concession de Villards au N.-O. de Saint-Étienne, on rencontre des houilles à longue flamme d'un caractère spécial ; elles sont dures, ternes, riches en oxygène, non brillantes et tendres. Comme les houilles de Firminy et de la Béraudière, ou celles du bois d'Aveize, ce sont les charbons, dits *Rafforts*, à cause de leur dureté.

Les couches les plus importantes du district, proprement dit, de Saint-Étienne fournissent surtout des houilles *grasses ordinaires*, donnant à l'essai 0,67 à 0,74 de coke. Ce sont les 3e, 4e, 5e, 6e et 7e couches du faisceau moyen, avec les veines voisines du faisceau supérieur et les couches les plus élevées du faisceau inférieur, c'est-à-dire les 8e, 9e, 10e, 11e et 12e couches.

Enfin, dans la partie centrale du district de Rive-de-Gier tous les charbons appartiennent également à cette même catégorie des houilles grasses ordinaires.

Le quatrième type, celui des *charbons à coke*, se rencontre surtout au nord-est de Saint-Étienne, dans les 13e, 14e et 15e couches des concessions de Méons, du Cros, de Revens, de Chaney, de la Calaminière et du Montcel. A cette même catégorie appartiennent aussi les couches de la série 9 à 12 du faisceau inférieur de Roche-la-Molière, vers la lisière ouest du bassin de la Loire.

Le cinquième type, celui des houilles *maigres* apparaît uniquement dans la partie la plus occidentale du district de la Grand'Croix et dans les couches les plus profondes du faisceau inférieur de Saint-Étienne, c'est-à-dire dans la concession du Plat-du-Gier et dans les concessions de la Chazotte, de la Calaminière, de Méons et de Revens.

La nature des houilles dépend, en second lieu, de la *profondeur relative des couches*. Ainsi, à la Béraudière et à Firminy, où la plupart des veines donnent des charbons à gaz, on constate pourtant que les houilles des couches inférieures renferment moins de matières volatiles que celles des veines les plus élevées. Dans le district de Firminy, par exemple, où la plupart des houilles ne donnent à la distillation que 0,59 à 0,64 de coke pur, on voit le charbon de la houille inférieure de Montessul en laisser passer jusqu'à 0,78; la 5ᵉ couche des mines de Latour, la 15ᵉ couche, au puits Chapelon, 0,706, et la grande couche de Latour, au puits Charles, 0,70.

Mais l'influence du niveau relatif des couches se fait surtout sentir lorsqu'on compare entre elles les diverses houilles d'une même coupe verticale. se succédant du sud au nord dans les trois faisceaux supérieur, moyen et inférieur de Saint-Étienne.

Les couches les plus élevées du bois d'Aveize donnent 0,64 à 0,67 de coke pur. Les 10ᵉ et 11ᵉ couches du faisceau supérieur, au puits d'Aveize. Les 5ᵉ et 4ᵉ couches du faisceau moyen, à Côte-Thiolière et au puits Remel de Monthiers, 0,73 et 0,74. La 13ᵉ couche du faisceau inférieur à Méons. Enfin, la 15ᵉ couche, au puits Mars de Méons, 0,785; la même couche au puits Verpillers, à la profondeur de 577 mètres, 0,856 et la 16ᵉ couche au puits Rosan, à Revens, à la profondeur de 345 mètres, 0,823. La loi de l'amaigrissement graduel des charbons, depuis le faisceau supérieur jusqu'au faisceau inférieur, est ici bien évidente. Cependant on constate aussi quelques exceptions, qui paraissent tenir surtout à la profondeur absolue des points où les charbons ont été pris. Ainsi, la 15ᵉ couche laisse 0,75 et 0,76 de coke au puits du Cros, tandis que, la même couche en donne au puits Mars et au puits Verpillens jusqu'à 0,856; mais aussi au puits Cros, cette couche est à moins de 100 mètres, au puits Mars et au puits Verpillens à 577 mètres, ce qui prouve déjà qu'en général, dans une couche donnée, le charbon s'amaigrit à mesure qu'on avance des affleurements vers l'aval-pendage.

Enfin, la composition des houilles varie aussi, le plus souvent, dans chaque mine et pour chaque couche en particulier, *avec le niveau du chantier* où l'échantillon a été recueilli. De 100 mètres en 100 mètres on constate un amaigrissement très sensible. Dans le bassin de la Loire, ce fait apparaît nettement lorsqu'on compare le charbon pris, à divers niveaux, dans les 8ᵉ et 13ᵉ couches de Saint-Étienne et dans la grande couche de Rive-de-Gier.

Près des affleurements et à moins de 100 mètres de profondeur, la 8ᵉ couche laisse moins de 0,70 de charbon fini; ainsi à Villards, 0,65; dans la concession de Bérard, 0,67 à 0,68; à la mine du Bessard, concession de Méons, 0,685 à 0,70, et, d'après les essais de MM. Desbief et Chanselle, au puits des Baraudes, concession de Montsalson, 0,675; au puits de Montaud, concession du quartier Gaillard, 0,686 et au puits de la Manufacture, concession du Treuil, 0,697, tandis qu'aux profondeurs de 300 mètres, aux puits Jabin et du Treuil, on trouve 0,738 et 0,737: au

puits Chatelus, concession de Montsalson, 0,77 à la profondeur de 425 mètres, et même 0,776 à Villebœuf, à la profondeur de 525 mètres.

Les nombreux essais de MM. Desbief et Chanaille confirment pleinement l'accroissement régulier du carbone fixe, dans les mines du Treuil et de Terrenoire à mesure que l'on descend des niveaux supérieurs vers l'aval-pendage.

La proportion de carbone fixe croît également avec la profondeur à Rive-de-Gier ; la loi se manifeste dans les petites couches comme dans la grande masse ; seulement, il convient d'observer que pareille modification aussi assez souvent en poursuivant certaines couches de houille au même niveau, dans le sens de la direction, ou, en d'autres termes, en passant d'un district à un autre. C'est ainsi que dans le bassin d'Ahun (Creuse) toutes les couches, sur moins de 6 kilomètres en direction, donnent du charbon gras aux deux extrémités et du charbon maigre vers le milieu. De même dans la Loire, à la mine de la Roche-la-Molière, les diverses couches du district s'amaigrissent notablement vers le nord et deviennent au même niveau, plus riches en matières volatiles vers le sud ; et cette modification se manifeste surtout en s'avançant plus encore vers le sud, dans les districts de la Malafolie et de Firminy.

Le terrain houiller de la vallée du Gier, qui s'avance jusqu'à Montrond, près Givors sur ce versant nord-ouest du Pilat, se retrouve de même dans le prolongement de l'axe du bassin stéphanois, sur la rive gauche du Rhône, au sud des villages de Trenoy et de Communay. Les couches de houille exploitées dans cette dernière localité doivent donc être considérées comme le prolongement d'une partie du moins des couches de l'autre rive du Rhône. Elles diffèrent, il est vrai, des houilles grasses de Rive-de-Gier par leur nature sèche et anthraciteuse ; mais on connaît des exemples de changements de caractères analogues dans le combustible d'une même couche, d'une partie à l'autre d'un même bassin, comme cela a été remarqué notamment pour la couche supérieure du Creusot (Saône-et-Loire).

Le bassin de la Loire, qui appartient tout entier au terrain houiller moyen, a été de la part de M. Grand'Eury l'objet d'une étude détaillée ; il se divise, au point de vue de la flore, en six étages correspondant à ceux que la stratigraphie avait permis de distinguer. Ce sont du haut en bas :

6° L'étage stérile de Saint-Étienne, poudingue rougeâtre à galets de quartz, qu marque la transition du terrain houiller au permien, et que l'auteur appelle permo-carbonifère ; c'est à lui que se rapportent les schistes d'Autun ;

5° L'étage des Calamodendrées ou système supérieur de Saint-Étienne, auquel se rapporte la partie supérieure du bassin de Decazeville ;

4° L'étage des Fougères, ou système moyen de Saint-Étienne (bassin de Champagnac, dans le Cantal, Commentry, Ahun) ;

3° L'étage de Cordaïtes ou système inférieur de Saint-Étienne (Bessèges, Blanzy, la Grand'Combe, Langeac) ;

2° L'étage dit des Cévennes, ou massif stérile compris entre Saint-Étienne et Rive-de-Gier, avec graines silicifiées (Ronchamp, Graissesac, anthracite de la Mure) ;

1° L'étage de Rive-de-Gier, avec beaucoup de *Sigillaria* et de *Stigmaria*, comprenant aussi les anthracites du Briançonnais et des Alpes.

Creuse. — Le bassin d'Ahun (fig. 75 et 76), dans la Creuse, a une longueur

de 13 kilomètres, sur une largeur de 2 à 3; sa forme est elliptique, et l'on y a reconnu les affleurements concentriques de sept couches disposées en fond de bateau, dont la puissance varie de $0^m,50$ à 4 mètres.

Suivant sa direction, l'ensemble du bassin est coupé par une série de failles transversales qui ont divisé le faisceau des couches en huit fragments. Quelques-unes de ces failles n'ont qu'une faible amplitude, mais l'une d'elles a déterminé un rejet de 500 mètres, qui ramène à la surface les poudingues inférieurs, l'épaisseur des dépôts étant d'environ 600 mètres. Des affleurements de diorites mettent en évidence les roches soulevantes qui ont déterminé ces perturbations. L'exploitation obtient 300 000 tonnes par année.

Corrèze. — Le bassin de la Corrèze est fort étendu, très puissant, mais ne fournit qu'une production insignifiante.

Le petit lambeau de Lapleau, qui n'a que 900 mètres de côté sur 400 de longueur, est contenu entièrement dans une concession dont la surface est de 3500 hectares. Il repose immédiatement sur le granit porphyroïde Y (fig. 74) et il y est

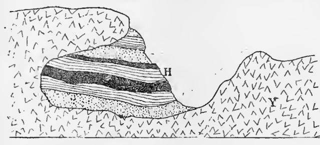


Fig. 74. — Coupe S. O. — N. E. du terrain houiller de Lapleau. — Y, granit; H, terrain houiller. — D'après Élie de Beaumont.

même enclavé sous la forme d'un coin; de sorte que celui-ci existe à la fois, au-dessus et au-dessous du terrain houiller. Cette disposition singulière est le résultat d'un pliement du terrain et d'une compression très énergique. Aussi les couches du terrain sont-elles très tourmentées. Les plus inférieures sont composées d'un poudingue à galets de granit rose porphyroïde, dont les angles sont simplement arrondis, mais qui n'ont pas la forme ellipsoïdal des cailloux longtemps roulés par les eaux. La forme de ces galets et la nature du granit qui les compose montrent que le terrain houiller de Lapeau a été presque fait sur place.

Le terrain houiller affleure au contact des terrains granitiques et schisteux du plateau central et des grès bigarrés, formant deux zones distinctes à Cublac et à Savignac, séparées par une zone de trias (fig. 75).

La direction du Bocage vendéen se continue d'une manière évidente sur la lisière occidentale du plateau central, et sur cette lisière se trouve encore un bassin de grès bigarré, dont la petite ville de Brives occupe à peu près le centre, et autour duquel on reconnaît un grand nombre d'affleurements houillers. Juillac, Donzenac, Alassac, Ceyral, Brives et Lanteuil sont des points qui paraissent marquer les limites d'un même bassin houiller, en grande partie recouvert par les grès bigarrés. Ce

Fig. 75. — Plan de la partie du bassin houiller d'Ahun qui entoure Fourneaux. Échelle 1/15000. D'après Gruner.

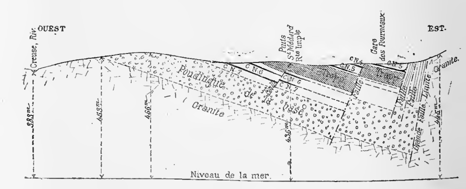


Fig. 76. — Coupe suivant la ligne MN de la figure précédente.

bassin de la Corrèze, qui appartient au groupe du centre, semble venir, par sa position géographique, à l'appui de l'hypothèse d'une certaine continuité souterraine du terrain houiller qui se prolongerait sur les pentes occidentales du plateau central des bassins du centre.

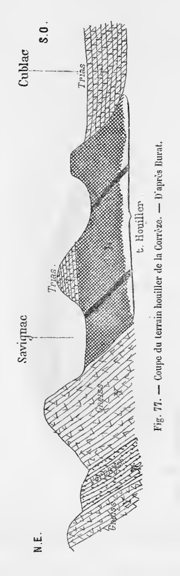


Fig. 77. — Coupe du terrain houiller de la Corrèze. — D'après Burat.

Les couches puissantes des bassins du centre ne présentent pas toujours la continuité désirable. Lors même qu'elles sont continues, il peut arriver qu'elles appartiennent à un étage supérieur et que leur plan n'occupe dans le bassin houiller qu'un espace restreint.

Les grandes couches sont sujettes à des étranglements et à des renflements qui semblent résulter, dans beaucoup de cas, de ce que la houille encore, molle et malléable, soumise, par les soulèvements latéraux du sol à des compressions iné-

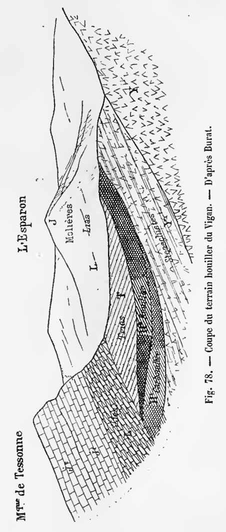


Fig. 78. — Coupe du terrain houiller du Vigan. — D'après Burat.

gales, avait été ainsi réduite ou supprimée sur certains points, tandis que sur d'autres elle avait pu être refoulée et accumulée en amas d'une grande épaisseur.

Gard. — Le bassin de Vigan est un petit bassin enclavé dans les terrains granitiques et schisteux, sur le périmètre du plateau central.

Il se compose de quelques affleurements dont plusieurs sont des lambeaux isolé, superposés au schistes talqueux et aux calcaires métamorphiques, mais à Soulanan le terrain houiller plonge à 45 degrés sous les terrains jurassiques de la montagne

de la Fage, et on y a suivi, sur environ 60 mètres d'inclinaison, une couche de houille de 1 mètre de puissance et de bonne qualité. A Cavaillac, les surfaces houillères prennent plus d'importance et forment un croissant à l'intérieur duquel se superposent d'abord les dépôts du trias, puis les protubérances liasiques et jurassiques de Molières et d'Esparon (fig. 78).

La surface du terrain houiller dans le département du Gard peut être évaluée à 86 kilomètres carrés environ, en y comprenant la partie septentrionale du terrain houiller d'Alais qui s'étend dans le département de l'Ardèche.

On peut le distinguer en *terrain houiller d'Alais* et *terrain houiller du Vigan*. Ces deux centres n'ont aucune liaison extérieure, et vers leurs affleurements ils sont séparés par des terrains plus anciens ou plus récents, sur une distance d'environ 35 kilomètres.

Les divers bassins qui les composent sont adossés sur le versant sud-est de la chaîne des Cévennes, et reposent tous, sans exception, sur les calcaires ou sur les schistes siluriens.

L'absence complète de fragments granitiques dans le conglomérat qui forme la base de la formation houillère dont les bassins sont placés, pour ainsi dire, au pied même des grands massifs granitiques de l'Aigual et de la Lozère, indiquerait que l'éruption des granits des Cévennes est postérieure au dépôt houiller.

Les roches qui constituent le terrain houiller du département du Gard sont, comme partout, les grès, l'argile schisteuse et la houille, et sur quelques points la sidérose, ou fer carbonaté lithoïde; l'élément calcaire y manque complètement, comme, au reste, dans la plupart des dépôts houillers du plateau central de la France.

Entre la ville d'Alais et celle des Vons (Ardèche) l'existence du terrain houiller est constatée sur une longueur d'environ 28 à 30 kilomètres et sur une largeur moyenne de 13 kilomètres environ, cette largeur étant prise entre la commune de Sainte-Cécile-d'Andorge et la ville de Saint-Ambroix.

La grande surface de ce terrain peut être comprise dans un hexagone à côtés très irréguliers, formé par une suite de lignes droites tracées successivement d'Alais à Saint-Ambroix, aux Vons, à Chomborigand, à Saint-Paul Laroche, à Saint-Jean du Pin et de là à Alais, point de départ. Cette surface ainsi limitée est d'environ 340 kilomètres carrés.

Mais dans cette vaste surface, il s'en faut de beaucoup que le terrain houiller soit partout à découvert. Il ne se montre que sur quelques points formant autant d'îles, îlots ou boutons plus ou moins étendus. Une partie de cette surface est occupée par des schistes siluriens, une autre est recouverte par le trias, le lias, l'oolithe inférieure et l'oxfordien, enfin le néocomien et même le tertiaire en recouvrent également une grande partie.

En jetant les yeux sur la carte géologique de l'arrondissement d'Alais (fig. 79) ou sur les coupes générales qui l'accompagnent (fig. 80), on voit que le terrain houiller consiste surtout en un grand affleurement principal allongé du nord au sud.

Cette grande surface se trouve parfaitement limitée vers le nord-ouest et le sud-est, par les schistes anciens sur lesquels viennent s'appliquer les couches houillères, tandis que ces mêmes couches disparaissent vers le nord-est et le sud-est sous un manteau de terrains triasique et jurassique qui laisse percer çà et là, dans ses déchirures, des îlots houillers plus ou moins importants.

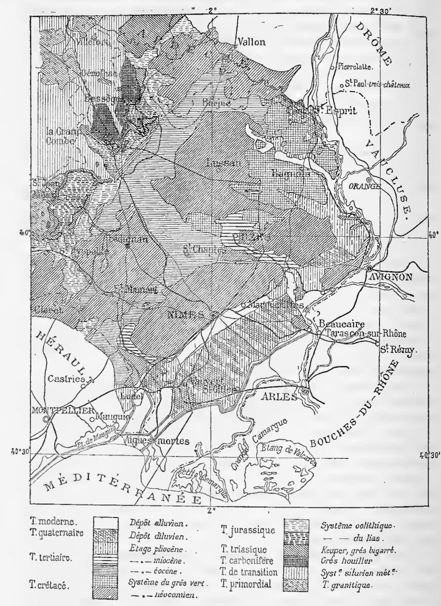


Fig. 79. — Carte géologique du bassin houiller d'Alais. — D'après Émilien Dumas.

Enfin, en dehors de la limite occidentale de cette grande île houillère, on rencontre encore de petits boutons houillers isolés sur le terrain ancien.

Il résulte de cette disposition que les divers affleurements houillers des environs d'Alais peuvent se diviser, au point de vue de leur gisement, en trois catégories distinctes.

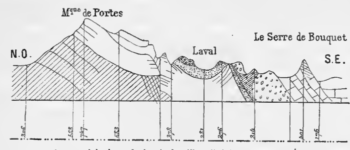


Fig. 80. — Coupe géologique du bassin houiller d'Alais. — D'après Émilien Dumas. (Les couches laissées en blanc appartiennent au terrain houiller.)

La première comprend les affleurements qui reposent d'un côté sur le terrain schisteux ancien, et qui, de l'autre, sont recouverts par le trias et le terrain jurassique.

La seconde catégorie se compose des îlots qui sortent au jour au milieu des terrains triasique et jurassique et quelquefois même au contact du néocomien et du tertiaire.

Enfin, la troisième catégorie comprend les lambeaux de terrain houiller isolés qui reposent sur le schiste talqueux qui les entoure de toute part.

Ces trois catégories comprennent 17 points houillers plus ou moins étendus; leur surface totale, assez exactement calculée, est de 8523 hectares 87 centiares.

Les îlots latéraux qui se montrent à l'est et au sud du grand massif principal désigné plus spécialement sous le nom de *bassin d'Alais* sont des données positives sur l'extension souterraine de la formation houillère.

Celui de Saint-Jean-de-Valeriscle, dans la vallée de l'Auzon, est surtout très intéressant sous ce rapport, parce qu'il indique le point le plus avancé vers l'est du terrain houiller.

Quant aux petits lambeaux ou boutons isolés sur les schistes anciens en dehors et à l'est de la limite houillère, ils sont insignifiants au point de vue économique; mais, se trouvant à des altitudes souvent très considérables (300 et 500 mètres), ils sont des témoins irrécusables de l'extension primitive du terrain houiller sur les schistes anciens et des dénudations profondes qui ont eu lieu à sa surface.

Le principal affleurement, celui qui est désigné vulgairement sous le nom de *bassin houiller d'Alais proprement dit*, constitue la presque totalité du bassin houiller; il présente une surface de 77 kil. 46, en y comprenant son extrémité septentrionale qui s'enfonce dans le département de l'Ardèche, tandis que, tous réunis, les 16 autres îlots ne représentent qu'une surface de 7 kil. 778 mètres.

Il est coupé en deux parties distinctes par une bande de schiste talqueux qui se détache du côté de Peyremale du massif ancien des Cévennes, et qui s'avance dans

la direction N.-N.-O. au S.-S.-E., sous forme de presqu'île ou de promontoire élevé. Cette bande de schiste talqueux est très remarquable; elle a 10 kilomètres de longueur sur 2 de largeur moyenne et forme une saillie très élevée qui domine de tout côté la formation houillère. Le point le plus avancé au sud est désigné sous le nom de Rouvergue; il s'élève à 500 mètres environ au-dessus du sol houiller qui l'environne et à 704 mètres au-dessus du niveau de la mer.

On peut désigner la partie du sud sous le nom de *région méridionale ou du Gardon*, et celle du nord sous celui de *région septentrionale ou de la Cèze.*

La région sud a 9 kilomètres environ de longueur sur 4 1/2 de largeur moyenne. Sa forme ovale rappelle assez bien celle d'un golfe s'enfonçant dans le terrain schisteux entouré de toute part, excepté vers le sud, par le terrain ancien dans lequel se seraient opérés les terrains houillers.

La région nous présente une forme beaucoup plus irrégulière : d'abord très étroite à l'extrémité de la chaîne du Rouergue, elle va en s'élargissant peu à peu et atteint 5 kilomètres de largeur. Sa longueur totale, à la hauteur de Bardezac est de 17 kil. 500. Elle comprend les exploitations de Trélys, de Bessèges, de Lalle, des Salles-de-Gagnières, dans le Gard, et celles de Pigère et du Mazel dans l'Ardèche.

Le terrain houiller d'Alais a une puissance très considérable, qui peut être évaluée de 1000 à 1200 mètres.

Son ensemble se divise en trois systèmes ou groupes (fig. 81), distincts par la nature des roches qui le constituent, par le nombre, la puissance et la qualité des couches de combustible, comme aussi par les diverses espèces de végétaux fossiles qu'on y rencontre.

Ces trois systèmes ou groupes se subdivisent eux-mêmes chacun en deux zones ou étages, remarquables en ce que l'un des deux est charbonneux et l'autre stérile. De sorte que la totalité du terrain houiller se trouve composée d'une succession d'étages stériles et d'étages charbonneux alternant de manière à ce que la série commence dans le bas étage par un étage stérile et se termine dans le haut par un étage charbonneux.

Il y a dans les trois systèmes 30 couches exploitables donnant une épaisseur de combustible de 46 mètres.

L'étage le plus inférieur qui constitue la base du terrain houiller est composé d'un poudingue ou conglomérat confusément stratifié, formé de fragments anguleux de schiste talqueux et de cailloux de quartz blanc liés par un ciment argileux d'un jaune rougeâtre. Dans les assises inférieures, ces fragments, et surtout ceux de schiste, sont souvent beaucoup plus gros que la tête; mais on observe que leur dimension va généralement en diminuant à mesure qu'on s'élève vers les assises supérieures; ils n'ont jamais leurs angles très arrondis, ce qui dénote une origine peu éloignée : ils proviennent évidemment du terrain de transition qui les supporte, et l'on peut dire que l'étage inférieur du terrain houiller est en quelque sorte composé des débris du vase qui le contient.

En se rapprochant de la limite inférieure, les fragments de ce schiste deviennent si argileux et si serrés qu'ils finissent par passer à un conglomérat si peu remanié par les eaux qu'on a souvent peine à trouver la limite précise qui sépare le système inférieur houiller le terrain de transition sur lequel il repose.

La puissance de cet étage stérile, dans le bassin de la Cèze, peut sans exagération

être évaluée à 300 mètres; dans le bassin du Gardon, au nord de Portes et à la Levade, cette épaisseur peut être fixée à 240 mètres environ.

L'étage supérieur du système inférieur est essentiellement charbonneux. Il renferme 6 couches de houille donnant une épaisseur moyenne de 15 mètres. C'est dans le bassin méridional que sont situées les couches exploitées à la Levade et sur la rive droite du Vallat de la Grand'Combe, dans la montagne de la forêt d'Abylon.

Au milieu des grandes variations, des couches de houille, de grès et de schistes

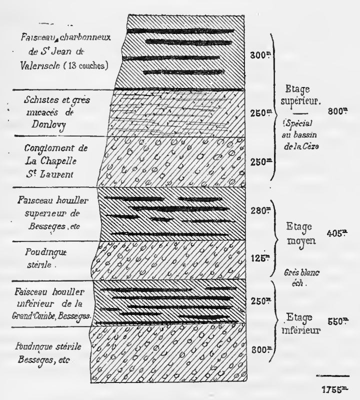


Fig. 81. — Coupe théorique du bassin houiller du Gard. — D'après M. Parran.

qui les séparent, on trouve des traits de ressemblance dans la qualité des charbons et même dans le détail de la structure des roches.

La zone charbonneuse, qui concerne le système inférieur, peut être suivie dans le bassin du Gardon, du côté de l'ouest, à partir de la Levade en remontant le Vallat des Luminières. L'affleurement de la couche de la Levade est reconnaissable sur plus de 1200 mètres de longueur par des traces d'anciennes attaques faites sur les affleurements. Ces indices d'affleurements se trouvent sur le chemin qui va des Luminières à Portes; on les retrouve beaucoup plus loin sur la route nationale de Nîmes à Moulins, et enfin dans le Vallat de l'Oguègne qui descend de Portes au Martinet-Neuf.

En revenant du nord au sud, au côté de la limite est du bassin, on en retrouve encore des affleurements à Carnas, dans la concession de Cessores et Trébian, et plus loin dans la concession de Comberedonde, à la mine Sainte-Barbe, où on exploitait quatre petites couches de $0^m,60$, $1^m,00$, $1^m,50$ et $0^m,80$ que l'on considère comme la partie supérieure du faisceau charbonneux que nous décrivons.

Plus loin, les affleurements de la zone charbonneuse du système inférieur se montrent encore aux Planes, sur plusieurs autres points entre les Planes et le Pradel, et au Pradel même.

Dans le bassin de la Cèze, c'est à ce même étage charbonneux que se rapportent très probablement les six couches inférieures des mines de Bességes et de Lalle jusqu'à la couche Saint-Émile (Saint-Christophe) inclusivement.

Ces couches ont une puissance de 9 mètres. Les roches intercalaires représentent 193 mètres. Total 202 mètres.

Placés immédiatement sur le conglomérat houiller, ces 6 couches sont recouvertes par un étage stérile de 118 mètres d'épaisseur au-dessus duquel se trouve une puissante couche de houille (la couche Sainte-Illide), qui doit correspondre à celle de Champclauson.

La même zone charbonneuse se trouve également dans les exploitations du vallon de Combelongue et de Pigère, mais à cette extrémité du bassin, au lieu de 6 couches comme à Bességes, on n'en compte que cinq. Cette suppression d'une couche qui rappelle un fait constaté à Brousson, dans le bassin méridional, n'infirme pas l'assimilation, dont le principal argument est dans l'existence, à la base de ces couches, de l'étage du conglomérat qui, à l'ouest de Garderigal, repose sur les terrains de transition.

L'étage charbonneux du système inférieur, contenant six couches de combustible dont l'épaisseur moyenne réunie est de $7^m,60$, est très riche en empreintes végétales. On y rencontre surtout en abondance les grandes tiges qui annoncent une végétation arborescente très puissante.

Au-dessus de la zone charbonneuse du système inférieur repose en stratification parfaitement concordante une zone stérile composée, dans sa presque totalité, de grès à grains fins et moyens, d'un blanc jaunâtre, très solides et donnant sur quelques points des pierres de taille assez estimées, et au milieu desquels on observe quelques rares bancs de schiste argileux.

Dans le bassin méridional, cet étage stérile se subdivise nettement en trois sous-étages, terminés chacun, dans le haut, par une puissante assise de grès à gros grains quartzeux. Ces grès résistent à la décomposition et forment à la surface du terrain autant de corniches ou crêtes saillantes qui accusent, au premier coup d'œil, l'allure générale de la stratification.

La puissance de cet étage stérile, inférieure sur certains points à 200 mètres, paraît atteindre son plus grand développement à la montagne de Champclauson, dans le Vallat de la Tronche, où on peut l'évaluer à 260 mètres.

Cet étage n'est pas complètement dépourvu de couches de combustible : à la montagne de Champclauson on connaît cinq petits filets de charbon schisteux inexploitables. On classe aussi dans l'étage stérile la petite couche de charbon très pur, de $1^m,10$ d'épaisseur, qui se trouve au-dessous de la grande couche de Champclauson, et qui en est séparée par une épaisseur de 25 mètres de grès. Cette couche,

qui porte le nom de *Minette inférieure de Champclauson*, a été reconnue sur plusieurs points du bassin méridional.

C'est également au même étage stérile que se rapportent les quatre petites couches inférieures demi-collantes exploitées en descenderie aux mines de Sainte-Barbe et du Devoir par la Compagnie de Comberedonde.

Émilien Dumas, qui avait fait ce rapprochement, se basait :

1° Sur l'absence de tout conglomérat houiller au contact des schistes anciens de la presqu'île du Rouergue;

2° Sur le peu de distance horizontale existant entre l'affleurement de ces quatre couches et le terrain ancien, circonstance qui prouve évidemment que les assises inférieures du terrain houiller doivent venir buter, sans affleurer, contre le massif du Rouergue.

3° Enfin sur le nombre des couches et sur leur peu d'épaisseur, puisqu'en effet la plus inférieure n'a que $0^m,80$, la seconde $1^m,50$, la troisième $0^m,60$ et la quatrième $1^m,20$. Il ne paraissait pas très naturel d'assimiler les quatre assises charbonneuses à une zone aussi bien réglée que la zone inférieure qui conserve toujours les mêmes caractères à une distance bien plus considérable de la Levade et de la forêt d'Abylon, que ne l'est Comberedonde de ces mêmes exploitations; mais les études faites par M. de Reydellet à propos d'un rapport dressé pour la Compagnie de Comberedonde en 1854, ont démontré que la puissance de l'étage stérile approchait de 200 mètres, et que les couches dites de Sainte-Barbe n'arriveraient peut-être au jour que sous l'action d'une faille.

A Bessèges, l'étage stérile du système moyen est moins développé et sa plus grande puissance n'est que d'environ 118 mètres, entre la couche Saint-Émile (autrefois Saint-Christophe) du système inférieur et de la couche Mathea du système moyen. Enfin, dans les concessions de l'Ardèche il n'apparaît pas au jour.

C'est à la partie supérieure de l'étage stérile du système moyen que se trouve le gîte important de fer carbonaté de Palmesalade associé à une couche irrégulière de houille dont la situation stratigraphique n'est pas nettement définie.

La zone charbonneuse du système moyen est très riche. On y compte dans le bassin méridional 14 couches de houille, dont les puissances réunies donnent moyennement une épaisseur de $21^m,95$ de combustible. Elle commence dans le bas par une couche de houille très remarquable par sa puissance et par la régularité de sa composition. Cette couche est connue sous la dénomination de *Grande-Couche de Champclauson*, parce qu'elle forme, sur la montagne de ce nom, le centre d'une exploitation importante.

Dans le bassin méridional la couche de Champclauson se montre partout formée exactement des mêmes successions de houille et de schiste, avec quelques légères variations d'épaisseur seulement. Comme l'affleurement de cette couche a été suivi sur une grande étendue, elle forme un excellent horizon pour l'étude géologique du terrain houiller.

Au-dessus de cette couche plusieurs autres de bien moindre puissance paraissent sur la montagne de Champclauson. Mais, pour observer le faisceau complet, le point le plus favorable est dans la montagne de Comberedonde qui fait face à celle de Champclauson, dont elle est séparée par le ravin profond qui descend de Portes.

La même zone charbonneuse se retrouve dans la montagne Sainte-Barbe à la

Grand'Combe, mais, comme puissance et qualité des couches, ce gisement, en grande partie épuisé, était bien supérieur à celui de Comberedonde.

Le système moyen est le plus riche en empreintes végétales. Les espèces varient beaucoup d'une couche à l'autre.

Au-dessus du faisceau charbonneux du système moyen, on observe des schistes d'un gris verdâtre pâle, micacés, se débitant facilement en feuillets excessivement minces. Ils ne contiennent aucune couche de combustible et sont aussi très pauvres en empreintes végétales. Les grès sont rares dans cet étage ; ceux qui composent les quelques bancs subordonnés qu'on y rencontre sont fins, micacés, peu consistants et se décomposent à l'air en masses sphéroïdales, ainsi qu'on l'observe en montant des Sables-de-Gaynières à Pierremorte.

Cet étage schisteux stérile, où l'on ne rencontre aucune trace de combustible, est peu développé dans la région méridionale, c'est-à-dire dans les exploitations de la Grand'Combe et de Portes : on ne l'observe qu'à la partie supérieure de la montagne de la Serre, dans la concessien de Comberedonde, où, malgré les dénudations, il conserve encore une puissance de 144 mètres ; mais il est très développé dans la région septentrionale, où sa puissance est d'environ 200 mètres.

On commence à voir des lambeaux de cet étage au nord de Bessèges, vers le quartier de Malgra ; on le retrouve ensuite vers la lisière est de la même région, entre les Sables-de-Gaynières et le Mazel, où il disparaît sous le terrain triasique.

Cet étage stérile est surmonté comme les précédents, par un étage charbonneux. Mais les couches houillères manquent dans le bassin méridional et ne se montrent qu'à l'extrémité septentrionale du bassin, dans la concession de Baune (Ardèche), où elles sont exploitées au Mazel et dans le Vallat de Lacombe.

On doit aussi rapporter à cet étage les couches anciennement exploitées au contact du trias, au-dessus de Boniol, sur la rive droite de Gaynières, en face du village des Sables.

Les cinq couches de houille, dont l'étage charbonneux du système supérieur se compose, et dont la supérieure et l'inférieure sont inexploitables, ne donnent dans cet étage qu'une épaisseur de $4^{m},25$ de combustible.

Cet étage charbonneux n'est point continu, comme les couches des systèmes précédents. Au Mazel les couches se relèvent de tous côtés et forment un petit fond de bateau isolé, de très peu d'étendue. Il y a eu, en ce point, une brisure qui s'est opérée dans les couches houillères qui doivent être recouvertes à l'est par le trias et le jurassique, du côté de Bonnes et des Avelas.

Le système supérieur renferme des espèces variées, mais se rapportant en grande partie à des plantes herbacées ou à des arbres voisins de nos conifères.

On observe, dans le terrain houiller d'Alais, des failles et des plissements nombreux qui viennent souvent interrompre l'apparente régularité qu'on avait cru pendant longtemps y observer.

Ainsi il existe, dans le Vallat de la Grand'Combe une immense dénivellation qui a maintenu vers l'est, à un niveau très inférieur, la couche Sans-Nom qui n'est autre chose que la continuation de la couche Champclauson relevée.

La direction de cette faille est sensiblement N.-121° E. Sur le revers nord du col Malpertuis on en retrouve les couches affectées de la même manière.

y aurait ici plissement en forme de selle, aujourd'hui démantelé ; il y a eu

encore rupture et dénivellation. C'est précisément dans le pli inférieur de la selle en forme de *V* couché qu'a été ouverte, par l'effet du hasard, la galerie Ricard, dont les travaux pénètrent à volonté dans la branche verticale de la Grand'Baume, c'est-à-dire dans celle qui affleure au jour sur la rive droite du vallat et qui se poursuit jusqu'au haut du col, ou dans la branche inférieure ou normale de la même couche qui se poursuit souterrainement vers l'ouest jusqu'à son affleurement dans le vallat des Luminières.

Le terrain houiller d'Alais, antérieurement au dépôt du trias, a éprouvé des dislocations par le fait de soulèvements qui sont venus émerger une grande partie de sa surface, refouler et replier les couches houillères de manière à les relever en selles ou à les abaisser en fonds de bateaux.

Ces dislocations ont aussi produit les nombreuses failles qu'on y remarque.

En outre, ce terrain, dans la période qui s'est écoulée entre son soulèvement et le dépôt du trias, a éprouvé à sa surface des dénudations profondes dont on voit des traces irrécusables en un grand nombre de points.

Les petits îlots d'Olympie, de Vérus, de Tarabisas, qu'on observe sur la lisière Ouest du bassin, ne sont que des lambeaux délaissés du conglomérat inférieur stérile qui les reliait, dans l'origine, à l'ensemble du terrain.

Il est vrai que, pour ces bassins, la dénudation a pu s'opérer pendant ou postérieurement à la période triasique. Mais il n'en est pas de même sur d'autres points où l'on voit le trias recouvrir indistinctement les systèmes inférieur, moyen ou supérieur du terrain houiller presque toujours en stratification descendante.

C'est ainsi qu'on voit dans la concession de la Grand'Combe les grès formant la base du trias reposer à stratification discordante et sur les assises de l'étage stérile du système inférieur (coupe du Fraissenet, dans le Gardon et au-dessus de la Levade et sur celles de l'étage charbonneux du système supérieur (coupe passant par le château de Trouillas et les travaux de la mine sans nom).

Sur la rive droite du Gendon, à côté de la ville d'Alais et à l'extrémité du faubourg de Rochebelle, le terrain houiller affleure au jour et forme un îlot dont le relief allongé du nord au sud, ou d'une manière peut-être plus exacte du nord-25° est, à 3 kilomètres de longueur sur 650 mètres de largeur moyenne.

Il existe dans trois points, Rochebelle, Cendras et Saint-Martin, un ensemble particulier de couches de houille dont il est assez difficile, au premier abord, d'expliquer la véritable relation.

Les couches de ces trois centres charbonneux ne font pas suite les unes aux autres; elles constituent trois faisceaux charbonneux indépendants.

La disposition particulière des couches de Saint-Martin, leur plongement vers le sud, prouvent qu'elles sont inférieures à tout le système et qu'elles viennent s'enfoncer dans les couches de la montagne de Cendras; le faisceau de Cendras plongerait lui-même sous celui de Rochebelle, qui se trouverait par conséquent occuper la partie supérieure de tout ce système houiller. Cette superposition est d'ailleurs parfaitement démontrée par les travaux d'exploitation passant par le puits montant et par le hameau de la Loubière.

La présence, dans la plus basse couche de Cendras, du *Sphenophyllum quadrifidum*, espèce exclusivement propre jusqu'ici au système moyen du bassin d'Alais, fait présumer que l'ensemble de l'îlot doit être rapporté à ce système, c'est-à-dire

aux couches exploitées dans le vallon de la Grand'Combe, à la montagne Sainte-Barbe, à Champclauson.

La compagnie propriétaire de la concession houillère d'Alais et de Rochebelle a fait exécuter un sondage dans la vallée du Gardon à côté du chemin de fer de la Grand'Combe, près du village de Malbos.

Ce sondage, commencé dans le trias, a atteint le terrain houiller à une profondeur de 225m,98.

Il a été poussé dans ce terrain jusqu'à une profondeur de 372m,18 et a traversé 146m,80 de terrain houiller, où il a rencontré six couches de combustible donnant une épaisseur totale de 16m,95 de combustible.

Le terrain houiller plonge dans le sens du cours du Gardon, c'est-à-dire vers le sud-est, et son inclinaison est de 25°, autant qu'on a pu en juger par les carottes retirées du sondage.

L'épaisseur du trias traversée serait donc de 225m,98, mais il s'en faut de beaucoup que les affleurements de ce terrain donnent nulle part une aussi forte épaisseur. Ce résultat tient à la forte inclinaison des couches traversées.

Au-dessous de Saint-Jean de Valeriscle, dans la vallée de l'Auzonet, entre Alais et Saint-Ambroise, à gauche et à un kilomètre et demi de la route nationale nº 104, le terrain houiller affleure au jour sur une longueur de 2400 mètres et sur 1200 mètres de largeur moyenne.

Il est entouré de toute part par le trias qui le recouvre en stratification discordante et qui s'enfonce à son tour sous les calcaires du lias qui forment des sommités assez élevées sur les deux côtés de la vallée, entre autres le mont Dourquier au nord et le Farau du côté du sud.

Les couches houillères offrent une parfaite régularité et leur inclinaison, vers l'est, est de 7 à 12 degrés selon le point où elle est observée.

Dans la partie supérieure de ce bassin houiller, 14 couches de combustible ont été reconnues soit par les affleurements, soit par le creusement d'un puits dans la vallée, dont la profondeur approchait de 100 mètres.

Mais la couche supérieure vient promptement buter contre les assises du trias, ce qu'on a reconnu par des travaux souterrains. Ces couches donnent une puissance totale de 13 à 14 mètres de houille.

Rien n'indique que l'érosion n'a pas enlevé d'autres couches ; dans tous les cas, Émilien Dumas rapporte le faisceau connu à l'étage charbonneux du système moyen : il repose ici sur un étage stérile de 350 mètres d'épaisseur dans lequel on ne connaît, par les affleurements, que trois petites couches de combustible. Une seule, la plus basse, paraît avoir quelque importance (0m,50); les deux autres ne sont que des filets charbonneux de 0m,20 d'épaisseur.

Le terrain houiller de l'arrondissement du Vigan ne se présente que sur des points très circonscrits, mais formant deux groupes séparés dont le premier est situé près du chef-lieu de cet arrondissement et le second dans la commune de Sumène.

Ces deux portions de terrain houiller font l'objet de deux concessions appartenant à la même compagnie qui n'exploite que la concession de Cavaillac.

Auprès du Vigan, le point le plus important où existe le terrain houiller se trouve situé à une demi-lieue à l'ouest de cette ville, dans la commune de Molières,

où il constitue le sol de la petite plaine de Cavaillac placée au confluent des torrents d'Aulas et d'Esparon avec la rivière d'Arre.

Le terrain houiller de Cavaillac ne se montre que dans le lit des cours d'eau qui l'entourent, partout ailleurs il est recouvert par la terre végétale ou par un terrain de transport composé de gros blocs granitiques, des cendres des montagnes de l'Esparon par le vallon d'Aulas. Ce terrain détritique offre en certains points une épaisseur de 3 mètres. La superficie connue de ce bassin houiller peut être évaluée à peu près à 1000 mètres carrés.

Il existe dans le bassin de Cavaillac trois couches de combustible qui ont fait, pendant quelques années, l'objet d'une exploitation importante, ont été abandonnées, puis livrées de nouveau à l'exploitation.

Elles plongent, comme tout l'ensemble du terrain houiller, du nord-nord-est au sud-sud-ouest, sous une inclinaison moyenne et générale d'un décimètre par mètre. Elles ne sont pas très régulières et sont sujettes à des accidents et à de nombreux ressauts.

La première couche, ou la supérieure, a une épaisseur moyenne de 2 mètres, mais en allant du côté du sud, c'est-à-dire vers la Tessonne, elle se renfle graduellement et atteint jusqu'à 5 et même 6 mètres de puissance.

Cette couche fournit un charbon d'une qualité supérieure à celui des deux autres, et qui est assez bon pour la forge.

Cette houille contient quelquefois des rognons de gypse blanc, fibreux, mais en moins grande quantité que la couche suivante.

La seconde couche, d'une puissance moyenne de 1 mètre, est parallèle à la première et en partage tous les accidents.

Des doutes subsistent sur l'existence de la troisième couche qui pourrait n'être qu'une des deux couches amenée par un rejet. Elle a une puissance de $1^{m},80$.

Les trois couches de combustible de Cavaillac sont séparées par des grès et des schistes d'une nature et d'une épaisseur variables.

Le bassin de Cavaillac étant placé sur les bords de la rivière d'Arre et au confluent des deux rivières d'Aulas et d'Esparon, avec des couches très rapprochées de la surface, dans une plaine d'alluvion, ayant au-dessus d'elle des assises d'un grès caverneux et perméable, il n'est pas étonnant que les eaux soient venues incommoder les travaux.

Les schistes houillers du Vigan offrent beaucoup moins d'empreintes végétales que ceux du bassin d'Alais.

Il n'existe aucune liaison entre le terrain houiller de Sumène et celui de Cavaillac. Ces deux bassins sont séparés par les schistes talqueux.

Le dépôt houiller de Sumène est bien moins considérable que celui de Cavaillac : il consiste en deux petits lambeaux de grès houillers, situés à l'extrémité orientale du territoire de cette commune et à une demi-lieue environ de la ville.

Le plus important est situé sur la montagne où est bâti le hameau de Sannalou, annexe de la commune de Sumène. Cette montagne, élevée de 260 mètres au-dessus du vallon de Sumène, sert de contrefort à celle de la Faye dont la hauteur est de 947 mètres au-dessus du niveau de la mer.

La montagne de Sonnalou, prise dans son ensemble, se trouve entre deux vallons : celui du Récardier, au nord, et celui du Picard, au sud, qui descend du col de Cézas, dit col du Lac.

Le revers septentrional est formé par les schistes micacés au milieu desquels existe une masse assez puissante de calcaire métamorphique subordonnée dont les couches, comme celles des micaschistes, plongent de 60 à 70° vers le sud. Le hameau de Sonnalou-Bas est bâti sur le calcaire. Le terrain houiller repose sur cette formation en couches presque concordantes (45°); il constitue le revers méridional et s'étend depuis l'endroit dit Sonnalou-Haut jusques un peu au-dessous de la maison dite du Picard, pas tout à fait au fond du vallon de ce nom.

Là, on voit les couches houillères s'enfoncer sous le calcaire à gryphées qui les recouvre en couches discordantes; celles-ci n'inclinent que de 25 degrés au sud.

Le terrain houiller de Sonnalou ne paraît présenter qu'une seule couche de combustible. Cette couche est très irrégulière et offre beaucoup de variations dans son épaisseur. Elle est divisée en deux par une assise de $0^m,30$ d'épaisseur de marne bitumineuse renfermant des rognons aplatis de fer carbonaté lithoïde; ces rognons contiennent quelquefois du fer sulfuré. Le banc de houille supérieure a une épaisseur ordinaire de 1 mètre, et l'inférieure, très variable, présente une épaisseur moyenne de $0^m,60$ au plus.

Le grès houiller qu'on observe au-dessus de cette couche est en général compact et à petits grains, tandis que celui qui se trouve au-dessous présente des éléments beaucoup plus grossiers : il est formé de cailloux de quartz blanc, dont les plus gros ne dépassent pas cependant la grosseur d'un œuf. Quelques-unes de ces couches renferment aussi, avec plus ou moins d'abondance, des fragments de schiste talqueux.

D'après la prédominance ou la présence unique des diverses familles végétales dans les trois systèmes houillers du département du Gard, on pourrait désigner ces systèmes sous les noms suivants, au point de vue paléophytographique.

L'inférieur, sous celui de *système des Calamites*.

Le moyen, sous celui de *système des Asterophyllites*.

Le supérieur, sous celui de *système des Lepidodendrons*.

C'est dans la région qui nous occupe qu'on a observé une très remarquable explosion d'acide carbonique dont on doit la description à Delesse[1].

Si des dégagements d'acide carbonique ont souvent été signalés dans les mines, des explosions de ce gaz doivent être considérées comme tout à fait anormales et exceptionnelles; elles peuvent cependant se produire, comme l'a montré un terrible accident arrivé à la mine de houille de Rochebelle (Gard).

Le 28 juillet dernier, deux ouvriers qui travaillaient dans le fond du puits Fontanes, à 345^m de profondeur, entendirent une détonation semblable à celle d'un coup de mine, mais plus brève; moins d'une minute après, ils entendirent une seconde détonation, plus forte que la première, qui toutefois ne fut pas perçue par le mécanicien se tenant à l'orifice du puits.

A ce moment leurs lampes s'éteignirent; en même temps, ils éprouvèrent des défaillances et ils eurent à peine le temps de se jeter tous deux dans la benne, qui fut aussitôt remontée par le mécanicien, en sorte qu'ils échappèrent miraculeusement à la mort. Malheureusement trois ouvriers mineurs se trouvaient dans des

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXXIX, 17 novembre 1879.

galeries débouchant dans le même puits, à 246m de profondeur, et ils y périrent asphyxiés.

Les ingénieurs des mines, MM. Julien et de Castelnau, se sont immédiatement rendus au puits Fontanes, afin de procéder au sauvetage, qui a été long et périlleux, et ils se sont livrés à une étude très complète de ce déplorable accident.

Les détonations entendues pouvaient faire croire d'abord à une explosion de grisou; mais cette hypothèse, soutenue avec vivacité par certaines personnes, fut bientôt reconnue inexacte : en effet, les détonations n'avaient pas été accompagnées de flammes; des cloisons légères existant dans le puits et dans la galerie débouchant au niveau de 246m n'avaient pas été brisées; les cadavres et les vêtements des malheureuses victimes ne portaient aucune trace de brûlure; enfin, de la poudre se trouvant dans la galerie et des cartouches préparées pour tirer des coups de mine n'avaient même pas pris feu.

Du reste, jusqu'à grésent, le grisou n'a jamais été observé dans la mine de houille de Rochebelle, et, par suite, on n'y fait pas usage de lampes de sûreté; les dégagements d'acide carbonique y ont au contraire été constatés depuis longtemps, et, pour les combattre, on avait recours à une bonne ventilation. On perçait aussi, au front de taille, des trous de sonde horizontaux d'une profondeur de 2m, de manière à faciliter le départ de ce gaz. A différentes reprises cependant, les ouvriers mineurs ont été obligés de quitter le travail, incommodés qu'ils étaient par l'acide carbonique. A la suite de l'accident du 28 juillet, cet acide s'est répandu dans les galeries de la mine et a remonté jusqu'à 50m de l'orifice du puits Fontanes; il était d'ailleurs facile de constater sa présence par l'eau de chaux et avec les lampes qui s'éteignaient lorsqu'on descendait à cette profondeur.

Pour renouveler l'atmosphère de la mine et pour se débarrasser de l'acide carbonique, les ingénieurs ont eu recours successivement à de l'eau qu'on faisait tomber dans le puits, soit en ouvrant les robinets de réservoirs placés dans le haut, soit en enlevant l'eau même de la mine à l'aide de bennes à fond mobile et en la laissant retomber à l'orifice, d'où elle se répandait en pluie. La vapeur d'eau fournie par une machine a également été injectée dans le puits. En outre, on a eu recours à l'eau de chaux et à l'eau ammoniacale. Mais, en définitive, il n'a été possible de rentrer dans la mine qu'après avoir aspiré l'air, en établissant sur le puits un puissant ventilateur de secours qui avait été envoyé en toute hâte par M. Graffin, l'ingénieur des mines de la Grand'Combe.

Alors on a reconnu que l'explosion d'acide carbonique s'était produite au front de taille de la houille, à l'extrémité d'une galerie ascendante, inclinée à 13°,5 et communiquant avec le niveau de 246m. Sur une distance de 9m, cette galerie avait été presque entièrement obstruée par la houille menue lancée au moment de l'explosion de l'acide carbonique, et des poussières de houilles imprégnaient les objets à une distance beaucoup plus grande. Le mineur qui travaillait au front de taille avait été projeté par l'explosion et même enseveli sous la houille menue. M. de Castelnau a reconnu dans la houille du front de taille l'existence d'un vide qui n'avait pas moins de 6 mètres de profondeur, et il évalue au chiffre très considérable de 76 tonnes le poids de la houille menue entraînée par les deux explosions.

Il est difficile de connaître exactement la quantité d'acide carbonique qui a été

dégagée subitement par ces explosions; mais, en cubant les parties du puits et des galeries qui ont été envahies par l'air irrespirable, on trouve 4596me, volume représentant un maximum.

L'acide carbonique a continué à se dégager de la houille après l'accident; et, pendant la période de sauvetage, les ingénieurs ont dû plusieurs fois donner l'ordre d'abandonner la mine. Ils ont même observé que la houille menue, projetée par l'explosion, dégageait encore de l'acide carbonique, lorsqu'on la remuait et lorsqu'on en opérait le déblai afin de pouvoir rentrer dans le fond de la galerie.

On avait bien reconnu, depuis longtemps, que de l'acide carbonique se dégageait lentement ou même avec un léger bruissement de diverses couches de houille de la mine de Rochebelle; mais c'est la première fois que l'on constate que cet acide peut être assez comprimé et assez condensé dans la houille pour la rendre explosive et pour la projeter avec détonation.

Il reste maintenant à rechercher l'origine de cet acide carbonique dont l'explosion a produit la catastrophe de la mine de Rochebelle. Or, on ne saurait l'attribuer à des dégagements comme ceux qui ont lieu si fréquemment dans les régions volcaniques, particulièrement dans la mine de houille de Brassac et dans la mine de plomb de Pontgibeaud, en Auvergne; en effet, il n'existe pas d'anciens volcans dans le voisinage de Rochebelle.

D'un autre côté, il semble bien peu probable que l'acide carbonique se soit formé dans la houille même de Rochebelle et par une oxydation de son carbone déterminée par l'oxygène atmosphérique.

On est alors conduit à se demander si l'acide carbonique de Rochebelle ne proviendrait pas d'une action exercée par la pyrite de fer, du gîte voisin du Soulier (fig. 82); car cette pyrite, présentant un amas stratifié dans la partie supérieure du trias, est très fortement oxydée et en voie complète de décomposition; elle donne sans cesse lieu à la formation d'acide sulfurique, qui, se dissolvant peu à peu dans les eaux souterraines, rencontre du calcaire triasique dans la profondeur et par suite en dégage de l'acide carbonique; ce dernier doit se diffuser ainsi dans les roches voisines, en pénétrant de préférence dans celles qui, comme la houille, sont friables, fissurées et susceptibles de l'absorber; il peut même finir par s'y accumuler à haute pression. Les couches de houille de Rochebelle, ayant été brisées et très disloquées, et venant quelquefois buter contre le trias pyriteux, semblent d'ailleurs offrir des conduits naturels et être particulièrement favorables à une accumulation de l'acide carbonique dégagé par l'oxydation de la pyrite.

Isère. — Le bassin de la Mure ou du Drac, en Dauphiné, est la partie la plus riche du terrain houiller des Alpes. La surface connue de ce bassin a été évaluée à 2000 hectares, une partie étant simplement probable, et cachée sous les couches puissantes du lieu superposé.

Le bassin de la Mure est à la fois remarquable sous le rapport de l'étendue, de la continuité et de la puissance des couches de combustible.

Les couches exploitées à la Mure sont au nombre de trois à cinq. La grande couche a une puissance de 6 à 12 mètres, et les autres de 0^{m},60 à 2 mètres.

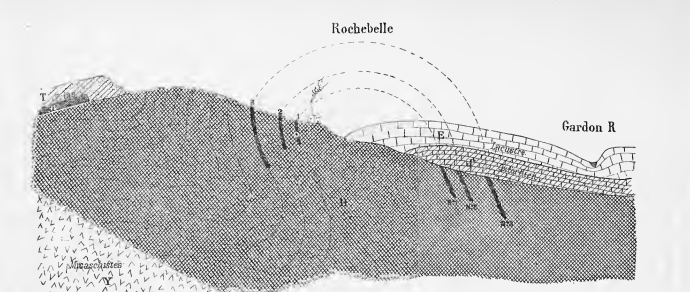


Fig. 82. — Disposition relative du terrain houiller et du trias avec pyrite de Rochebelle (Gard).
Y, terrain cristallin. — H, terrain houiller. — T, trias renfermant le gîte P de pyrite. — J, terrain perafrique. — E, terrain tertiaire d'eau douce.

Il y a tout près de Chamagnieu un petit reste de grès houiller reposant sur le gneiss, et on a trouvé dans ce grès une petite couche de houille collante.

Hérault. — De nombreuses couches de houille affleurent dans le bassin de

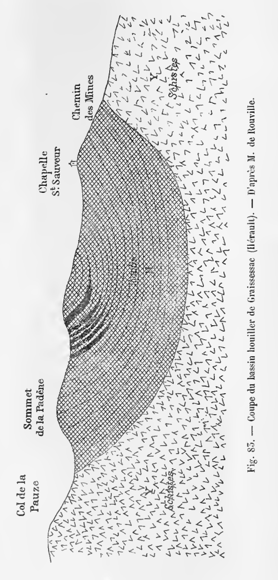


Fig. 85. — Coupe du bassin houiller de Graissessac (Hérault). — D'après M. de Rouville.

Graissessac (Hérault) (fig. 85). Presque entièrement découvert et isolé dans les errains de transition, il forme une zone d'environ 18 kilomètres, depuis le pont de l'Orb, sur la route de Bédarrieux à Lodève, jusque vers le moulin, sur la route d'Agde à Castres. Sa largeur moyenne est d'environ 2 kilomètres.

On exploite la houille depuis fort longtemps à Graissessac; mais c'est seulement depuis l'établissement du chemin de fer de Graissessac à Béziers que les houillères ont pris un développement sérieux. La production atteint le chiffre de 300,000 tonnes.

Le bassin de Graissessac, dirigé de l'est à l'ouest, est limité et encaissé, sur la plus grande partie de son périmètre, par les terrains schisteux et de transition. L'encaissement est formé par des schistes cristallins continus au nord et à l'ouest; au sud, ce sont des schistes et des calcaires dévoniens qui limitent le terrain houiller; à l'est ce terrain houiller plonge et disparaît sous les grès bigarrés.

Dans les concessions de Castanet et de Saint-Geniès, à l'extrémité occidentale du bassin de Graissessac, les étages supérieurs, caractérisés par les charbons gras, sont exploités dans les concessions de Saint-Gervais, du Devoir, de Boussognes et du Bousquet.

Au Bousquet, on connaît onze couches de houille, dont six ont été ou sont en exploitation; la somme de leurs puissances réunies est d'environ 10 mètres; la plus puissante ayant 3 mètres d'épaisseur normale, et la plus petite $0^{m},60$.

Sur le versant de la montagne de la Padène, on a constaté l'existence de vingt-cinq affleurements. Sept couches principales sont en exploitation, la plus puissante ayant 5 mètres et la moindre $1^{m},50$ d'épaisseur. Les épaisseurs réunies des sept couches donnent une moyenne de 16 à 17 mètres. Ces couches de la Padène, les plus puissantes du bassin, sont en même temps les plus grasses.

A Garella, on connaît neuf affleurements, dont cinq couches exploitées forment une puissance totale de 10 mètres. La couche la plus puissante a 4 mètres, et la moins puissante a 1 mètre d'épaisseur. Sur ce point, la stratification présente une régularité remarquable.

Le bassin de Roujeau, situé au sud-est, du bassin de Graissessac se révèle par une série d'affleurements qui semblent indiquer une certaine étendue.

L'exploitation a porté principalement sur la région du Caylus et a produit de 20 à 30,000 tonnes par an, et sur la zone de Sauveplaine et sur l'îlot protubérant du Mounio.

Aveyron et Lot. — « Le département de l'Aveyron, suivant la remarque de M. Boisse[1], est un de ceux dans lesquels le terrain houiller se montre avec le plus d'abondance : on le voit à découvert sur une étendue de 11 000 hectares environ, soit plus de 1,20 pour 100 de la surface totale du département, et s'il nous était donné de le suivre au-dessous des grès bigarrés et des terrains jurassiques, sous lesquels on le voit plonger dans un grand nombre de points, nulle doute que nous ne trouvassions pour son étendue réelle un chiffre bien plus élevé encore. »

Cette formation constitue, outre le vaste et riche bassin houiller d'Aubin, une série de petits bassins distribués assez régulièrement sur deux zones, à la limite qui sépare les terrains secondaires des terrains primitifs, dans les vallées de l'Aveyron et du Lot; on voit enfin ses affleurements surgir en divers points, soit sur le pourtour des bassins secondaires, soit au centre même de ces bassins (aux environs de

1. Ad. Boisse. *Esquisse géologique du département de l'Aveyron.* Paris, 1870.

Palmas, Aujols), comme pour témoigner de sa continuité au-dessous des terrains plus modernes qui le recouvrent.

Ce bassin, situé dans la partie nord-ouest du département, présente la forme d'un triangle presque rectangulaire, d'environ 20 kilomètres de hauteur sur 10 kilomètres de base, dont les trois sommets d'angle seraient la Tapie, Valzergues et Auzits. C'est le plus important, par son étendue, par la richesse des mines qu'il recèle, par le développement de l'industrie minérale et métallurgique dont il est le siège.

Toute la partie du bassin comprise au nord d'une ligne allant de Firmy à Valzergues est enclavée dans le terrain primitif, qui forme dans cette étendue sa limite naturelle.

Au sud de cette même ligne, la limite est formée par le terrain jurassique entre Valzergues et Ruhle; par le trias, accompagné de quelques lambeaux permiens entre Auzits et Firmy. La limite connue du bassin vers le sud et le sud-ouest est donc plutôt une limite apparente qu'une limite réelle, puisque, dans cette partie, le terrain houiller disparaît sous les formations stratifiées d'une époque plus récente.

Dans divers points situés soit sur les bords, soit dans l'intérieur du bassin, se montrent un assez grand nombre de roches éruptives porphyriques et serpentineuses.

L'ensemble du bassin occupe un niveau assez bas, dont la hauteur moyenne peut être approximativement évaluée de 250 à 300 mètres au-dessus de la mer, les roches qui le composent présentent partout des traces d'une dislocation, d'un bouleversement violent, qui paraît avoir suivi de près leur formation.

Les roches qui constituent le sol sont le grès, les schistes argileux et micacés, les pséphites, le poudingue, la houille; disposés en couches alternantes, dont le nombre et l'ordre de superposition sont encore peu connus, et paraissent même difficiles à déterminer.

Un grand nombre d'exploitations sont ouvertes sur les couches houillères du bassin d'Aubin.

La plupart de ces exploitations, celles dans lesquelles le développement des travaux permet de mieux apprécier l'allure générale des cavités, appartiennent à la Compagnie des mines et fonderies de l'Aveyron ou à la Compagnie d'Orléans (régie d'Aubin), et sont concentrées dans les collines qui séparent la vallée de l'Elvine de la vallée de Rieumort (fig. 84).

D'après une opinion partagée par plusieurs des ingénieurs qui ont pris une part active à l'exploitation du bassin d'Aubin, toutes les couches de houille reconnues se rattacheraient à deux systèmes ou étages distincts, et chacun de ces systèmes se composerait d'une ou plusieurs assises, qui, tantôt se réuniraient en une seule couche, tantôt, au contraire, se dédoublant, se subdivisant et présentant dans leur allure, dans leur puissance, dans la distance qui les sépare les unes des autres, les variations les plus multipliées se plieraient à l'explication de toutes les anomalies.

L'ensemble de ces deux systèmes occuperait la partie moyenne de la formation houillère, la seule productive. Au-dessous, une série stérile de grès et de poudingues à gros galets de granit, de diorite, de schiste et de quartz; au-dessus,

une série également stérile de grès et de schistes argilo-micacés, compléteraient la formation.

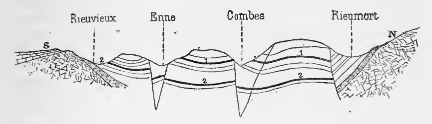


Fig. 84. — Coupe N.-S. du bassin de l'Aveyron. — D'après M. Boisse.

La houille du bassin d'Aubin ne présente pas, dans ses caractères et sa qualité, moins de variations que dans sa puissance; quelques mines donnent des produits comparables aux charbons les plus estimés de l'Angleterre et de la Belgique; mais le combustible de ce bassin est trop souvent chargé de cendres, de matières volatiles et de soufre; de là des difficultés et des pertes dans son exploitation, dans sa transformation en coke, dans son emploi métallurgique.

La proportion considérable des cendres qu'il faut nécessairement faire passer dans les laitiers, nuit au travail des hauts fourneaux et augmente le déchet.

L'abondance des matières volatiles diminue le rendement de la houille en coke.

Enfin l'abondance des matières pyriteuses donne à la houille des propriétés pyrophoriques qui multiplient les dépenses et les difficultés de l'exploitation et entraînent souvent l'abandon forcé de chantiers considérables préparés à grands frais.

Les exemples d'incendies souterrains dus à l'inflammation spontanée de la houille, ne sont point rares dans le bassin houiller d'Aubin. Aujourd'hui, grâce aux sages dispositions et aux mesures de prévoyance adoptées dans presque toutes les mines, on parvient, sinon à empêcher les incendies, du moins à arrêter leurs progrès, à les resserrer dans des limites étroites; mais à une époque où les modes d'exploitation étaient moins perfectionnés, les incendies des mines, abandonnés à eux-mêmes, faisaient souvent de rapides progrès et finissaient par envahir des collines entières.

Dans quelques mines, et notamment à Monteils, à Foulognes, à la Buègre et à Lassalle, l'incendie date déjà d'une époque fort reculée, et il est encore aujourd'hui en pleine activité; dans d'autres, comme aux environs de Cransac sur lesquels nous reviendrons plus loin, il paraît presque éteint et ne se manifeste plus que par l'aspect brûlé du sol, et par une émission plus ou moins abondante de vapeurs chaudes sur lesquelles on a parfois établi des étuves.

La surface des collines incendiées est généralement affaissée et déchirée dans tous les sens, et les fissures, souvent larges et profondes, laissent échapper des vapeurs acides brûlantes, quelquefois enflammées, dont l'action sur les roches voisines donne naissance à des produits variés. Ces vapeurs se dégagent ordinairement sous forme de fumée très délétère, répandant une forte odeur d'acide sulfureux; leur composition doit être très compliquée, à en juger par la multiplicité des agents chimiques qui se trouvent en présence, et par les variations du degré de

température auquel ces agents sont soumis, selon la distance plus ou moins grande qui les sépare du foyer de l'incendie. Les éléments dominants paraissent être les vapeurs aqueuses, bitumineuses et sulfureuses; mais on doit s'attendre à y trouver tous les produits volatils que fournit la distillation de la houille, sèche ou humide, avec ou sans le contact de l'air, comme l'azote, l'hydrogène carboné, le gaz oléfiant, l'hydrogène sulfuré, l'oxyde de carbone, l'acide carbonique, l'acide sulfureux, le sulfure de carbone, les vapeurs huileuses, l'ammoniaque, etc. Quant aux produits solides de ces incendies souterrains, ils sont également fort nombreux et consistent principalement en coke, dont on trouve de très beaux échantillons extrêmement poreux et légers, en oxydule et peroxyde de fer, en fer phosphaté, en fer métallique, en grès et schistes torréfiés, en scories, porcelanites, émaux, en efflorescences mousseuses et aciculaires de soufre, de sulfates d'alumine, de magnésie, de fer, etc., et en masses terreuses boursouflées, blanches, jaunes ou rougeâtres des mêmes matières.

Dans le bassin houiller d'Aubin se trouve du minerai de fer carbonaté, en rognons et en couches.

Ce fer carbonaté est imprégné d'une assez forte proportion de houille pour qu'on puisse en opérer le grillage sans addition de combustible. Son rendement est de 25 à 30 pour 100.

Les dépôts d'un âge plus moderne qui recouvrent le terrain houiller, dans le bassin des bords de l'Aveyron et du Lot, ne permettent pas de déterminer rigoureusement les limites topographiques du terrain, mais la disposition des affleurements connus est telle, que l'on se trouve conduit à considérer comme appartenant à ce bassin tout l'espace compris entre les vallées du Lot et de l'Aveyron, depuis Espalion et Rodez jusqu'aux environs de Sainte-Eulalie d'Olt et de Séverac.

Il semble donc que cette vaste dépression, dans laquelle sont venus successivement s'accumuler les dépôts du grès bigarré, du lias et de l'oolithe, existait déjà à l'époque où le terrain houiller s'est déposé dans cette région, et constituait le bassin sur le fond duquel le terrain s'est moulé.

La formation houillère se montre au jour dans un assez grand nombre de points situés pour la plupart, sur le bord des deux rivières (l'Aveyron et le Lot), qui limitent au sud et au nord, le bassin secondaire central.

Dans la vallée de l'Aveyron (rive gauche) on trouve ce terrain un peu en amont de Rodez, près de Sousac, et l'on peut en suivre les affleurements de proche en proche, jusqu'à une petite distance de Séverac-le-Château.

On le voit, dans toute cette étendue, relever ses couches vers les bords du bassin, et s'appuyer sur les flancs schisteux des Palanges, formant une zone presque continue, dans laquelle ont été ouvertes plusieurs exploitations de houille situées à Sousac, Gages, Bennac, Trébosc, Galsiès, Bertholène, Laissac, le Méjanel, la Devèze, Recoules et Lavernhe.

A la limite opposée du bassin, vers son extrémité nord-est, le terrain houiller se présente encore sur le versant gauche de la vallée du sol, formant, entre Sainte-Eulalie et Espalion, une seconde zone, qui a donné lieu aux exploitations de la Draye, d'Etavagnes, de Pruneyrous, de Lassouts, de la Roque.

Dans ces deux zones, le terrain présente des conditions d'allure et de gisements analogues ; dans l'une comme dans l'autre, les couches se relèvent habituellement

vers les bords du bassin et plongent vers le centre, mais avec une inclinaison qui semble décroître à mesure qu'on s'éloigne des bords, affectant ainsi une tendance à former le *fond de bateau*, indice probable de la continuité souterraine du bassin houiller.

Cette continuité n'a cependant pas lieu d'une manière absolue, et si tout porte à croire qu'il existe avec communication une liaison souterraine entre les affleurements houillers de la vallée de l'Aveyron et ceux de la vallée du Lot, il suffit néanmoins de jeter les yeux sur la carte géologique pour reconnaître que le terrain carbonifère ne forme pas, dans l'étendue comprise entre les deux zones d'affleurements, un tout continu.

La formation houillère du centre de l'Aveyron, semble s'être déposée dans une mer ou une anse peu profonde, parsemée de petits îlots, formant plutôt une série de bassins en communication les uns avec les autres qu'un bassin unique.

Dans toute la zone correspondant à la vallée de l'Aveyron, le terrain repose sur les schistes micacés et les gneiss des Palanges (fig. 85). Dans la vallée du Lot, il

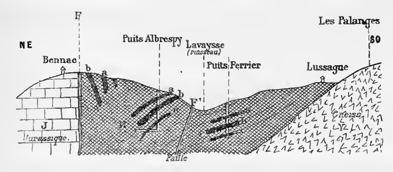


Fig. 85. — Coupe transversale du bassin houiller des Palanges. — D'après M. Boisse.

s'appuie sur des schistes talqueux satinés, qui présentent parfois une assez grande analogie avec les schistes de transition des environs de Brusque et de Comarès.

Le nombre des couches de houilles reconnues dans les diverses mines varie généralement de deux à cinq.

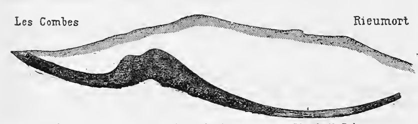


Fig. 86. — Coupe de la grande couche de l'Aveyron. — D'après M. Boisse.

Dans la plupart des gîtes situés sur la lisière méridionale au pied des Palanges, les couches sont au nombre de trois ; l'exploitation est principalement concentrée sur la couche moyenne, dite *grande veine*, qui est la plus puissante (fig. 86).

Le bassin de l'Aveyron et du Lot est loin de présenter, sous le double rapport de la puissance des couches reconnues et de la qualité du combustible, la prodigieuse richesse du bassin d'Aubin.

Au lieu des couches de 10 mètres, 20 mètres, 30 mètres et jusqu'à 50 ou 60 mètres qu'offrent les mines Firmy, Campagnac, Serous, Palayret, la Fraysse, la Vaysse, et surtout les exploitations de Bourron et de Lagrange, on ne trouve généralement dans les houillères de l'Aveyron et du Lot, que des couches de 50 centimètres à 1 mètre d'épaisseur, atteignant, dans des cas fort rares, $1^{m},50$ à 2 mètres, comme à Bennac, à Gages, à Bertholène, au Méjanel.

A Bertholène, l'épaisseur s'élève exceptionnellement, dans quelques points, jusqu'à 4 ou 5 mètres.

On trouve du bon charbon de forge et même de la houille métallurgique à Bennac, à Bertholène, à Gages, mais la plupart des gîtes ne fournissent qu'un charbon maigre, schisteux, trop chargé de cendres, d'une épuration difficile, presque exclusivement consacré au chauffage domestique, à la fabrication de la chaux, etc.

Le département de l'Aveyron occupe, parmi les départements français, le sixième rang au point de vue de la production de la houille.

On n'y compte pas moins de trente concessions, à savoir :

Dans le bassin d'Aubin	16
— — de Rodez ou de l'Aveyron.	9
— — du Lot ou de Lassouts.	4
A Brousse	1
	30

Le seul bassin d'Aubin a produit, en 1865, près de 5 millions de quintaux de houille.

Tarn. — Les limites du bassin de Carmaux ne sont pas nettement définies. Il est remarquable par la richesse et la régularité des couches de houille. Dans une faible épaisseur des dépôts, il contient cinq couches de 1 à 3 mètres de puissance. Les épaisseurs réunies donnent une moyenne de 10 mètres. La production annuelle dépasse 120 000 tonnes.

Du côté de l'ouest le bassin de Carmaux disparaît sous les grès bigarrés ; du côté du sud, sous les terrains tertiaires.

Aude. — Le bassin de Durham, sur la Berre (Aude), fort restreint, contient de petites couches de houille grasse. Comme dans le bassin de Ségure, le terrain houiller s'appuie d'un côté sur le terrain de transition relevé, et de l'autre plonge sous les calcaires crétacés.

Classification des bassins houillers français. — On a vu que M. Geinitz a, le premier, basé la classification des dépôts houillers sur l'étude de leurs flores. Cette méthode a reçu une application remarquable dans un important travail de

M. Grand'Eury [1]. L'auteur a été amené à diviser l'époque carbonifère en trois périodes qui sont de haut en bas :

1° Le terrain houiller supérieur, représenté en France par les bassins de la Loire, de Saône-et-Loire, de l'Allier, du Gard, de l'Aveyron et en général par tous les dépôts isolés du plateau central ;

2° Le terrain houiller moyen (bassins du Pas-de-Calais et du Nord; bassin de Vouvant en Vendée):

3° Le terrain houiller inférieur, se divisant lui-même en trois assises :

I. La Grauwacke récente (houilles et anthracites de la Sarthe, de la Mayenne, de la Basse-Loire et de Saint-Laurs, en Vendée).

II. Le culm (anthracites du Roannais et du Beaujolais, grauwacke de Thann).

III. Le calcaire carbonifère.

Au point de vue de la flore, le terrain houiller supérieur est caractérisé par la prépondérance, déjà sensible, des dicotylédones gymnespormes sur les crypto games. Les fougères y sont pourtant très abondantes, en particulier les *Pecopteris*, les *Odontopteris* et les *Schizopteris;* mais ce qui domine surtout ce sont les *Cordaïtes*, voisines des conifères, vers la base, et les *Calamondendron* vers le haut. Les *Walchia* apparaissent.

Dans le terrain houiller moyen, les sigillaires constituent la famille dominante. La houille elle-même en est formée. Parmi les fougères on rencontre surtout les *Nevropteris* et les *Sphenopteris*.

Enfin, le terrain houiller inférieur est caractérisé par les *Lepidodendron* (lycopodiacées) et aussi par de nombreuses *stigmaria*. L'anthracite feuilletée du Roannais est presque entièrement formée d'écorces du *Lepidodendron Weltheimianum;* la même chose a lieu pour la houille du culm de Saxe, comme l'a constaté M. Geinitz.

BELGIQUE.

En Belgique, et suivant la remarque de Burat, les dépôts houillers, formés dans une longue vallée, se concentraient de plus en plus, de telle sorte que dans les parties centrales et les plus profondes, les limites des couches supérieures formaient des lignes fermées concentriques et de plus en plus circonscrites.

Une de ces parties centrales qui reçut les derniers dépôts, est précisément celle du couchant de Mons. Les couches les plus récentes et supérieures du terrain houiller ne se trouvent guère que là, elles sont caractérisées par une qualité de houille spéciale, les charbons *flénus*. Ainsi, lorsque le système du flénu s'est déposé, il n'existait plus, au milieu de cette longue vallée, de Namur à Douai et au delà, qu'un lac étroit, commençant au couchant de Mons et se terminant vers Thulin.

Les charbons flénus, qui ont terminé la série des dépôts houillers, sont les plus chargés de gaz; leur position supérieure confirme la classification géologique des houilles, qui, dans la plupart des bassins, suit l'ordre précédemment indiqué, des

1. *Mémoires des savants étrangers*, t. XXIV.

anthracites aux charbons gras, et des charbons gras aux flénus ou charbons à longue flamme.

Le bassin central et supérieur du couchant de Mons étant ainsi défini, on peut se représenter chaque étage inférieur comme stratifié dans toute l'étendue du bassin longitudinal, de telle sorte que les affleurements forment des zones parallèles vers les lisières littorales du nord et du midi.

Les compressions latérales exercées postérieurement aux dépôts houillers ont relevé les couches et rendu les zones encore plus distinctes par leurs inclinaisons. Ainsi les couches qui affleurent sur la lisière méridionale plongent vers le nord par leurs allures dominantes; celles qui affleurent vers la lisière septentrionale plongent au midi.

Le raccordement des deux pendages inverses se fait par un pli en fond de bateau, dit *naye*, qui ondule tantôt vers le nord, tantôt vers le sud. De nombreuses coupes transversales mettent en évidence les traits caractéristiques de la structure du bassin et des ploiements qu'il a subis.

Les pendages ou *combles* du midi sont fortement relevés et comprimés, de manière à présenter une série de plis qui attestent l'effort exercé pour obliger les couches, autrefois à peu près horizontales, à se tenir dans un espace beaucoup plus réduit.

Les combles du nord, présentent, au contraire, un pendage simple et généralement peu accidenté.

Les couches stratifiées, dont la superposition a comblé le bassin, occupent des espaces de plus en plus restreints, de sorte que les couches supérieures ne couvrent que des étendues très faibles, comparativement à celles des couches inférieures. Au point de vue de l'exploitation, les couches supérieures ont dû être attaquées les premières; elles seront promptement épuisées, parce qu'elles ont moins d'étendue.

M. Plumat, en comparant et classant toutes les couches connues dans le bassin du couchant de Mons, a évalué le nombre total des veines ou veiniats de houille à 156.

Les 54 premières, à partir de la surface, appartiennent à l'étage supérieur ou système du flénu; la presque totalité des veines fournissant cette qualité de charbon.

Le deuxième étage comprend les charbons *durs*, moins chargés de gaz que les précédents, de la 52e veine à la 82e, soit en totalité 27.

Le troisième étage comprend les charbons *gras*, dits *fines forges*, de 83 à 118. Ces charbons sont en effet les plus gras du bassin, les plus aptes à la fabrication du coke et en même temps les plus friables.

L'étage inférieur, ou quatrième, comprend les veines de 119 à 156, composées de charbons secs et plus ou moins *anthraciteux*.

Toutes ces veines ne sont pas d'une épaisseur suffisante pour être exploitées; leur puissance varie de $0^{m},10$ à $1^{m},60$. Telle veine exploitable sur un point, c'est-à-dire ayant plus de $0^{m},30$, cesse de l'être un peu plus loin.

Quelle que soit la longitude d'une coupe faite en travers du bassin de Mons, on évalue à 80 au plus le nombre des couches exploitables. Les allures reproduisent les traits les plus caractéristiques de la compression des couches et des ploiements qu'elles ont subis sur la lisière méridionale. Ces ploiements ont été tels, que les

dernières couches présentent des plis formés par cinq pendages renversés et cinq pendages inveisés.

Ces ploiements ont réduit à 11 000 mètres la largeur du bassin, dont la moitié forme les combles du midi, l'autre moitié étant représentée par les combles du nord, presque entièrement recouverts par les morts-terrains. Le développement horizontal serait de 14 000 mètres.

La *naye* ou *ennoyage* du pli de la dernière couche se ferait à une profondeur dépassant 2500 mètres.

A Charleroi, les coupes attestent une compression encore plus considérable; les couches inférieures occupent une largeur de 6600 mètres, et leur développement horizontal serait de 11 500 mètres.

Il est résulté de cette énorme compression 22 plis principaux. Les couches supérieures y manquent et l'on ne connaît plus que 82 couches de houille de $0^m,20$ à $1^m,40$ de puissance. Ce nombre se réduit progressivement vers Namur, où il ne reste plus que les couches maigres anthraciteuses, c'est-à-dire inférieures.

Les puits les plus profonds qui existent au monde ont été creusés dans la zone carbonifère relativement étroite, mais activement fouillée, qui s'étend de l'ouest à l'est de la Belgique, en passant par Mons, Charleroi et Namur, jusqu'à Liége. Dans la région occidentale (surtout le district du Hainaut), l'angle d'inclinaison considérable des couches, souvent repliées en étroits zigzags, a exigé des fonçages poussés dans plusieurs cas au delà de 740 mètres; l'un d'eux, aux Viviers Réunis, près de Gilly, atteint même plus de 1000 mètres de profondeur.

Voici pour 1863, et partiellement pour 1864, quelle a été la production des différents bassins :

	1863		1864	
Mons	3,251,448	tonnes	3,505,145	tonnes
Centre	1,538,962	—	1,415,678	—
Charleroi . . .	3,631,903	—	3,879,624	—
Namur	259,603	—		
Liége	2,018,086	—		

Dans la région septentrionale, l'inclinaison des couches est moins forte qu'au sud, et souvent leurs replis en zigzag rappellent les phénomènes constatés en Angleterre dans le bassin du Pembrokeshire.

M. Dormoy, ingénieur des mines, a dressé de très belles cartes sur lesquelles on peut voir les accidents des couches de la Belgique. Il démontre que, par suite de la déviation d'une grande dislocation dirigée de l'est à l'ouest, la moitié de la formation fait défaut dans le sud, excepté dans le riche bassin de Mons, où l'on estime que la totalité de son épaisseur atteint 2400 mètres.

La mine de Six-Bouviers, près de Namur, offre un exemple frappant des contorsions en zigzag.

La méthode d'exploitation employée est, en général, celle dite des longs massifs, un peu modifiée; mais elle a l'inconvénient d'exiger une grande quantité de bois

de soutènement qui est en partie perdu. Mais de nombreux perfectionnements ont été apportés aux machines d'extraction ainsi qu'à tout le matériel extérieur, dont l'installation sur certains points importants est vraiment grandiose.

Le produit annuel obtenu par ouvrier est bien inférieur à celui de l'Angleterre; cette différence doit être surtout attribuée à la moindre épaisseur des couches, ainsi qu'aux difficultés d'exploitation résultant de leur position tourmentée.

Les roches qui forment le système houiller de la Belgique (ampélite, psammite, schiste et houille)[1] sont réparties par Dumont en deux étages. Le plus inférieur, dit sans houille, est peu développé tandis que le supérieur ou étage houiller, proprement dit, acquiert une épaisseur considérable.

« Dumont rangeait encore dans l'étage houiller, sans houille, dit M. Dewalque, des grès ou plutôt des quartzites grisâtres ou noirâtres avec empreintes végétales, que l'on rencontre surtout dans la partie nord-est du bassin de Liège et qui sont encore plus remarquables près d'Aix-la-Chapelle. Nous les laisserions plus volontiers à la base de l'étage suivant ; ils nous paraissent correspondre à sa partie sans houille dans la Westphalie (*Flotzleerer Sandstein*), que Dumont a colorée comme houiller inférieur sur la *Carte géologique de la Belgique et des provinces voisines*, et que nous considérons comme l'équivalent du millstone grit des Iles-Britanniques. »

Les roches dont parle M. Dewalque sont des grès blanchâtres passant au poudingue et à l'arkose et séparés du calcaire carbonifère par des schistes houillers renfermant quelques couches de houille.

Cet ensemble de dépôts présente de telles analogies minéralogiques avec ceux du millstone grit de la Grande-Bretagne qu'il semble préférable de voir les représentants de ces derniers dans l'assise schisteuse, limitée supérieurement par des grès et des poudingues, plutôt que de les rechercher dans l'ampélite de Chokier, comme on l'a fait généralement jusque dans ces derniers temps.

Dès lors la limite de l'étage houiller inférieur doit être notablement relevée dans la série, et le nom de *houiller sans houille*, ne peut plus convenir pour désigner l'étage inférieur du système houiller.

L'étage houiller inférieur de Belgique comprend deux assises : la première renfermant l'ampélite de Chokier et les phtanites houillers et la seconde, les schistes houillers terminés supérieurement par le poudingue de Monceau-sur-Sambre.

La première assise n'est représentée que par de l'ampélite alunifère ou des phtanites.

C'est une roche noire à texture schisteuse, imprégnée de pyrites, et renfermant aussi des petits cristaux de gypse ainsi que des concrétions, des enduits et des veines de couperose et d'alun de plume.

Elle renferme quelques lits argileux dont le supérieur contient des sphéroïdes de calcaire, passant quelquefois à la sidérose, exhalant une odeur fétide sous le choc du marbre, et remplies de restes de poissons et de mollusques marins.

L'épaisseur de l'ampélite varie de 2 à 30 mètres.

Dans les environs de Mons, de Charleroi et de Namur, ainsi que dans la partie nord-est de la province de Liège, l'ampélite est remplacée par des couches quart-

1. Michel Mourlon : *Géologie de la Belgique*, t. I. Bruxelles, 1880.

zeuses grises ou noirâtres, connues sous le nom de *phtanites*, qui passent au schiste au quartzite et au psammite.

M. Malherbe a rencontré cet ensemble de roches en de nombreux points de la province de Liège, MM. Briart et Cornet en ont reconnu l'existence dans le Hainaut. Ils en ont observé quatre affleurements principaux dans la partie sud-est du bassin du Centre, sur une longueur d'environ 4 kilomètres 1/2.

Ces affleurements sont situés sur une même ligne, à peu près, parallèle à la limite bien connue du calcaire carbonifère, qui se trouve à environ 900 à 1000 mètres au sud, et que l'on peut suivre depuis Fontaine-l'Évêque jusqu'à Landelies, sur la Sambre.

M. Faly a poursuivi cette même bande ou *bande de Monceau* bien au delà de la Sambre, ce qui lui assigne une longueur d'au moins 8 kilomètres.

Plus à l'est, M. Faly a retrouvé encore de nombreux affleurements de ces roches qui constituent ce qu'on appelle la *bande de Couillet*, qui chemine parallèlament à l'affleurement septentrional du calcaire de Loerval. Il a reconnu aussi que ces mêmes roches forment, dans le versant septentrional du bassin, la *bande de Courcelles*.

L'assise de grès qui se trouve au nord de la station d'Andenne paraît être le prolongement de la bande de Courcelles.

De son côté, M. Frikel a signalé l'existence du poudingue houiller en place dans des carrières de la rive droite de la Meuse, à Gives (Ben-Ahin), ainsi que celle des puissants bancs de grès qui le recouvrent à Seilles.

Les roches qui constituent le terrain houiller proprement dit de la Belgique sont : le schiste, le grès, le psammite et la houille.

Le schiste houiller est généralement feuilleté, souvent pailleté, quelquefois bituminifère, et présente une teinte grisâtre ou bleuâtre, qui devient noire au contact des couches de combustible.

C'est la roche encaissante de la houille. Elle forme ce que les mineurs désignent par les noms de *toit* ou de *roc* et de *mur*, c'est-à-dire le dessus et le dessous de la couche exploitée, lorsque celle-ci est dans sa position normale, auquel cas on dit qu'elle est en *plateure*. Dans le cas contraire, elle est en *droiteure*.

Le schiste du toit diffère de celui du mur en ce qu'il est ordinairement bien feuilleté, très mince et recouvert d'empreintes de feuilles de fougères et de tiges de *Lepidodendron*, de *Calamites*, de *Sigillaria* et d'autres plantes houillères. Celui du mur, au contraire, forme une masse non feuilletée, avec un peu de mica, à cassure irrégulière et traversée en tous sens, par les racines de certaines plantes arborescentes qui peut-être ont contribué à fournir la houille, ainsi qu'on la vu plus haut. En outre, le schiste du toit acquiert par l'action du feu une teinte rouge brique très prononcée, due à la présence de l'oxyde de fer, tandis que celui du mur donne par la cuisson des produits blancs ou gris. C'est à cause de ces faits qu'on a dit quelquefois que le mur représente la terre végétale sur laquelle s'élevaient les forêts aujourd'hui ensevelies et métamorphosées de l'époque houillère. Ces forêts, ajoutait-on, avaient, alors comme aujourd'hui, la propriété d'enlever le fer disséminé dans le sol.

Le schiste est la roche dominante du terrain houiller de Belgique, puis viennent le grès et le psammite.

Les grès houillers se présentent en bancs épais et sont généralement traversés par des fissures qui ont quelquefois plusieurs centimètres de longueur et qui sont souvent remplies par de l'eau. Ce liquide se rencontre aussi dans les fissures des schistes et même dans les vides étroits des plans de clivage de la houille.

La houille se présente ordinairement en couches dont l'épaisseur varie de quelques centimètres jusqu'à plus de 2 mètres. Ces couches sont composées d'un ou de plusieurs lits de houille contigus ou séparés par des lits de schistes argileux et charbonneux, quelquefois par des lits non contigus de sidérose ou de pyrite oolithique, et plus rarement par des lits de grès ou de psammite.

Les lits de houille sont souvent divisés naturellement par des joints parallèles à la stratification, et remplis par une substance ayant l'aspect du charbon de bois, et à laquelle on a donné le nom de *houille daloïde*. Celle-ci est ordinairement très pure et plus grasse que la houille qui la renferme.

La houille entre pour moins d'un trentième dans la masse totale du terrain.

Le nombre des couches de houille, en un point quelconque, est généralement proportionnel à l'épaisseur que présente le terrain houiller sur ce point : C'est ainsi qu'on en connaît dans le Borinage 150 à 160 dont les deux tiers sont exploitables alors que dans la province de Liège Dumont n'en a reconnu que 85.

Le terrain houiller renferme quelques couches subordonnées de *calcaire à crinoïdes*.

Les minéraux qu'on trouve disséminés dans le terrain houiller de Belgique sont : la sidérose, la pyrite, la pholérite, le quartz, la calcite, l'hatchetine, la millérite, la barytine.

Le terrain houiller de Belgique présente une faune peu variée; on y a découvert cependant, tant dans les bassins de Mons et du Centre que dans celui de Liège, divers niveaux fossilifères, toujours renfermés dans des schistes noirs, compacts, onctueux et comprenant de nombreuses coquilles marines dont la plupart sont rapportées au genre *Cardinia* (*Anthracosia*).

Les restes reconnaissables d'une végétation exubérante qui a donné naissance à la houille, se présentent sous la forme de troncs, de racines et de feuilles dans les couches de houille. Ce sont principalement des cryptogames vasculaires, représentés par des fougères, des *Calamites*, *Sphenophyllum*, *Annularia* et *Lepidodendrons*. A ces cryptogames viennent se joindre de nombreux représentants du genre *Sigillaria* rapporté avec doutes aux Cycadées et des gymnospermes appartenant au genre *Cordaites*.

Les couches supérieures du bassin de Mons possèdent une flore à peu près identique à celle de la concession de Bully-Grenay, et l'ensemble de la flore houillère belge est à peu près le même que celui de la flore du bassin du nord de la France.

Le terrain houiller remplit une profonde vallée qui résulte de la dépression des terrains plus anciens, et traverse la Belgique à peu près de l'est à l'ouest.

Cette vallée, dont le fond est très ondulé dans le sens de la longueur est interrompue au ruisseau de Samson, non loin de Namur, où les strates houillères les plus inférieures arrivent au niveau de la surface, dans l'axe de la vallée.

A partir de ce point, l'ensemble de la formation s'incline, d'un côté à l'ouest,

vers Mons pour constituer le bassin dit du Hainaut, qui renferme les importants districts miniers du Borinage, du Centre et de Charleroi ; et de l'autre, à l'est pour former le bassin de Liège.

Il résulte de cette disposition d'ensemble que la profondeur de la vallée houillère augmente à mesure qu'on s'éloigne de Namur, soit à l'ouest, soit à l'est; aussi les parties du terrain houiller les plus voisines de cette ville ne renferment-elles que les couches inférieures, qui donnent la *houille maigre* à courte flamme.

Dans le bassin du Hainaut, on ne commence à rencontrer ce que l'on appelle les *houilles grasses* que près de Charleroi, et ce n'est qu'aux environs de Mons qu'on trouve les houilles à longue flamme connues, comme on a vu, sous le nom vulgaire de *charbon flénu*. Celles-ci sont très recherchées pour la préparation du gaz d'éclairage, et on les exploite dans les couches supérieures de la formation houillère.

Une disposition semblable des couches se montre lorsqu'on se dirige de Namur vers Liège. C'est près de cette dernière ville, de même qu'à l'ouest de Mons, que le fond de la vallée présente le plus de profondeur. En effet, tandis que près de Namur il se trouve à 200 mètres environ au-dessus du niveau de la mer, on estime qu'il atteint, 2373 mètres au-dessous de ce même niveau, près de Boussu, à l'ouest de Mons.

Considéré dans le sens perpendiculaire à l'axe de la vallée, l'ensemble des couches houillères présente des dispositions très remarquables et qui varient suivant les points où on les observe.

Sur toute la longueur du versant septentrional de la vallée, les couches gisent en grandes plateures très régulières que l'on voit reposer sur les phtanites et sur l'ampélite.

Le versant sud au contraire, est comme refoulé sur lui-même et les couches y forment plusieurs séries de dressants et de plateures.

Ce mode remarquable de gisement est attribué à la même cause qui a plissé les terrains primaires, c'est-à-dire au mouvement de refoulement latéral du sud vers le nord qui, à la fin de l'époque houillère, s'est opéré dans le bassin primaire méridional.

Ce mouvement ne s'est pas borné à comprimer et à plisser les couches houillères depuis le Pas-de-Calais jusqu'à la frontière orientale de la Belgique, mais il a aussi donné lieu à la production d'une immense faille parallèle à la vallée et sur la paroi inférieure de laquelle les terrains primaires, formant le versant nord du bassin méridional, ont glissé et se sont avancés jusque sur le terrain houiller.

On comprend dès lors pourquoi ce dernier, qui est renversé, se trouve recouvert le long de la faille par des couches dévoniennes plus ou moins anciennes suivant que la direction de la faille s'infléchit plus vers le nord ou vers le sud relativement à la direction des couches.

L'amplitude du rejet de la faille est très variable ; elle paraît être la plus grande dans les départements du Pas-de-Calais et du Nord et dans la partie méridionale du district du Borinage.

Dans cette dernière région, les couches, en s'inclinant au sud, à partir de leur affleurement, constituent de grandes plateures dont l'ensemble est connu sous le nom de *comble du nord*. Ce versant se termine à une ligne nommée naye, qui correspond sensiblement à l'axe de la vallée houillère et au sud de laquelle les couches pendent

au nord pour former le versant dit *comble du midi*. A une distance assez considérable de la naye, les couches dans le comble du midi se relèvent brusquement, presque verticalement, et même se renversent pour former diverses séries de plateures et de dressants.

Le diagramme fig. 87 montre l'allure du terrain houiller à l'ouest de Mons.

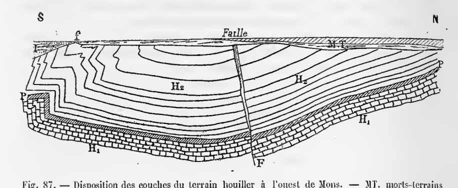


Fig. 87. — Disposition des couches du terrain houiller à l'ouest de Mons. — MT, morts-terrains des mineurs, composés de terrains moderne, quaternaire, tertiaire et crétacé. — H., terrains houillers proprement dits. — PP. phtanite. — H., calcaire carbonifère. — I, grès, schistes, et quartzites du terrain coblentzien. — D'après M. Cornet.

Les complications produites par les perturbations mécaniques qu'a subies le terrain houiller de la Belgique donnent quelquefois lieu à des singularités.

Il y a trente-cinq ans, la Société nationale ayant résolu d'enfoncer une bure pour la recherche du charbon, dans la commune de Thulin, au couchant de Mons, on traversa, comme le montre la coupe, fig. 88, décrite par Dumont[1] et figurée par M. Cornet dans un mémoire de M. Gosselet[2] :

34 mètres de dépôts tertiaires et crétacés que les mineurs du Hainaut appellent *morts-terrains*;

78 mètres de schistes noirs bleuâtres avec bancs de psammites intercalés, présentant une inclinaison au sud de 55° :

54^{m},50 de poudingue en bancs, inclinés de 4° vers le nord;

25 mètres de schistes et de psammites très souvent calcarifères, passant au schiste et au macigno et accompagnés de bancs de calcaires argileux.

Enfin les travaux d'approfondissement avaient été poussés à 11 mètres dans les bancs de calcaires, lorsque la Société se décida à recourir aux lumières de Dumont.

L'éminent stratigraphe reconnut à la vue des échantillons provenant de la bure du *Saint-Homme* que les couches des étages dévoniens inférieur et moyen s'étaient renversées sur le terrain houiller, et qu'on pouvait, par conséquent, atteindre celui-ci en poursuivant les travaux d'enfoncement à travers toutes ces couches, c'est-à-dire d'après ses inductions, sur une épaisseur de 276 mètres, le calcaire traversé devant avoir, d'après cela 104^{m},50. C'est, comme on voit, la répétition des faits indiqués plus haut, en France, dans le Nord et dans le Pas-de-Calais.

1. Mémoire de 1848, p. 325 et suiv.
2. *Annales des sciences géologiques*. 1875, t. IV.

Certaines raisons ne permirent pas de continuer les travaux d'approfondissement. Mais les exploitations entreprises dans un autre puits ont maintenant sanctionné la remarquable interprétation de Dumont, en établissant que le terrain houiller gît bien, en ce point, sous le calcaire dévonien qui a été renversé.

Seulement, l'épaisseur du calcaire a été moindre que ne l'avait annoncé Dumont, mais cette épaisseur pouvant varier d'une localité à l'autre, comme cela a été observé

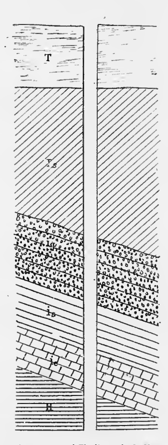


Fig. 88. — Coupe de la bure du Saint-Homme, à Thulin, près de Mons. — M, morts-terrains (tertiaires et crétacés) 34 mètres d'épaisseur. — Is, schistes calcaires 78 mètres. — Ig, poudingues dévoniens 34m,80. — is, schistes dévoniens 25 mètres. — ic, calcaire dévonien 25 mètres. — H, schistes houillers. — D'après Dumont et MM. Cornet et Gosselet.

pour le calcschiste et le poudingue, dont la puissance augmente en avançant de l'est à l'ouest, l'illustre géologue n'avait, du reste, considéré ce résultat que comme approximatif.

Des failles nombreuses et d'une extension verticale et horizontale souvent considérable découpent le terrain houiller, de même que tous les autres terrains primaires de la Belgique, et ajoutent leur complication à celles qui résultent des ren-

versements dont on vient de voir un des cas les plus extraordinaires qui aient été constatés jusqu'à présent.

MM. Briart et Cornet ont fait connaître qu'il existe dans le terrain houiller du Hainaut certains accidents analogues à ceux qui ont été signalés dans les terrains crétacés et tertiaires sous les noms de *Puits naturels* et d'*Orgues géologiques*, ainsi que de *Marquais* (par les carriers de l'Artois).

Ce sont, en effet, de véritables puits, à sections curvilignes plus ou moins régulières, traversant les couches houillères obliquement ou normalement à la stratification.

Ces excavations diffèrent surtout des failles en ce qu'elles ne sont jamais accompagnées de rejets; elles n'ont de commun avec elles que la nature des roches qui constituent leur remplissage.

Ce sont des débris de houille, de schistes, de grès houiller, éboulés des parois, parmi lesquels on rencontre accidentellement des lignites, des argiles et des sables crétacés, mais, jusqu'ici, pas de roche tertiaire.

On a rencontré de ces puits naturels dans plusieurs charbonnages du Hainaut, notamment dans ceux de Bascoup à Chapelle-le-Herlarmoit, du Sars-Longchamps à la Louvière, du Grand-Hornu à Hornu, du Mourage, de Quareguoy, etc.

La grande vallée houillère du bassin de Namur s'étend au delà des frontières belges, d'un côté jusqu'en Westphalie, et, de l'autre, jusque dans le département du Pas-de-Calais et peut-être même jusqu'en Angleterre, dans le bassin du Somersetshire.

L'étage houiller est peu développé dans le bassin de Dinant, où il se montre composé de psammites et de schistes, mais on n'y trouve que peu ou point de houille. Il forme dans cette région les petits bassins de Florennes, d'Aubée, de Bois-Borsu, d'Assesse, de Bende, de Modane et de Lincht.

Le grès houiller est utilisé comme pierre à paver et comme meules à aiguiser.

On extrait chaque année en Belgique de 4 à 5 millions de tonnes de houille; en 1873 ce chiffre s'est élevé à 15 778 401 tonnes.

Dans un travail de M. Carnot, les couches de houille exploitées en Belgique sont divisées en quatre classes, d'après les différentes propriétés physiques et chimiques du combustible qu'elles fournissent.

1° *La houille maigre à longue flamme ou houille flénu.* — C'est un charbon brillant à cassure fibreuse, ne se réduisant pas en poussière, mais en petits fragments à surface lisse, ne tachant que peu les doigts, et partagé naturellement par deux plans de clivages obliques qui donnent aux morceaux la forme de prismes à bases rhombes.

Le charbon flénu s'enflamme très rapidement et brûle sans coller, avec une flamme vive et longue, en donnant beaucoup de fumée. Distillé en vase clos, il fournit une grande quantité de gaz d'éclairage, mais ne laisse, comme résidu, qu'un coke en petits morceaux, très friable, dont on ne peut guère faire usage.

Le charbon flénu est très estimé par toutes les industries qui ont besoin de flammes longues ou d'une grande quantité de chaleur à produire rapidement à un moment donné. Il est principalement employé au chauffage des chaudières de ba-

teaux à vapeur, au puddlage du fer, à la cuisson des tuiles, des carreaux et de la faïence, dans la fonte du verre à vitres et à glaces et dans la fabrication du gaz d'éclairage. Il convient beaucoup pour les industries qui emploient le four Siemens.

Certains charbons flénu ont fourni jusqu'à 330 mètres cubes de gaz éclairant, par 1000 kilogrammes de houille employée.

2° *La houille maigre à longue flamme ou demi-grasse.* — C'est un charbon noir, à cassure schisteuse, se réduisant assez facilement en poussière, tachant les doigts, se partageant naturellement en blocs assez friables qui affectent la forme de parallélipipèdes et renferment assez souvent de minces lits de houille daloïde.

Cette houille s'allume plus difficilement que le charbon flénu, et brûle moins rapidement, avec une flamme assez longue et en s'agglutinant. Soumise à la distillation, elle fournit moins de gaz d'éclairage que le charbon flénu, mais le résidu est un coke d'assez bonne qualité, que l'on peut utiliser au chauffage domestique et à quelques autres usages.

La houille demi-grasse est employée principalement pour le chauffage des chaudières à vapeur, les usages domestiques, la fabrication du gaz d'éclairage et la fabrication du coke de métallurgie, quoique ce coke soit ordinairement d'assez faible densité et poreux.

3° *La houille grasse maréchale, ou houille grasse.* — Cette houille est ordinairement très friable, très poussiéreuse et tachant les doigts. Elle a un aspect gras caractéristique et renferme beaucoup de houille daloïde. Les gros morceaux affectent la forme de parallélipipèdes.

La houille grasse maréchale s'allume plus difficilement et brûle moins rapidement que les charbons des deux classes précédentes. La flamme est relativement courte, et les morceaux de houille en ignition ont une grande tendance à s'agglutiner. Soumise à la distillation, elle produit un coke pesant, dur, très recherché par la métallurgie. Aussi la majeure partie de cette houille, extraite en Belgique, sert-elle à alimenter les nombreux fours à coke qui y sont établis. Elle est aussi très estimée pour le chauffage domestique et les foyers de forgerons.

4° *La houille sèche à courte flamme, ou houille maigre.* — Cette houille, dans certaines couches, est à cassure schisteuse, généralement résistante, se divise en morceaux parallélipipédiques, quelquefois prismatiques à bases rhombes, montrant ordinairement d'assez nombreux lits de houille daloïde.

Dans d'autres couches, la houille maigre est à cassure conchoïde, très fragile, et se réduit facilement en poudre fine tachant les doigts.

Cette houille s'enflamme avec difficulté et brûle très lentement, sans coller ni se ramollir, avec peu de fumée et une flamme courte et moins brillante que celle des charbons des autres classes.

Si l'on soumet la houille maigre à la distillation, il s'en échappe peu de gaz et il reste un coke fritté, souvent en poudre incohérente, d'autres fois ayant conservé la forme des morceaux de charbon, et dans ce cas il est assez pesant, mais friable.

La houille maigre est principalement utilisée pour la cuisson des briques et de la chaux, pour le grillage des pyrites, la réduction du minerai de zinc, et pour la fabrication des charbons agglomérés.

C'est principalement le charbon menu qui est employé à ces divers usages. Les gros morceaux sont vendus pour le chauffage domestique.

Il existe sur certains points du pays une variété de houille maigre connue sous le nom de *terre-houille*. Elle est généralement très friable, presque toujours à l'état de menu, et mélangée intimement de matières argileuses et sulfureuses.

La terre-houille s'allume difficilement et brûle très lentement, en donnant une chaleur douce et uniforme, mais en répandant une odeur sulfureuse. En la mélangeant avec de l'argile, on fabrique de petites masses arrondies (boulets de terre-houille) que l'on emploie au chauffage domestique.

Les quatre classes principales de houille dont nous venons de parler passent de l'une à l'autre par transition insensible, et il est souvent assez difficile de rapporter d'une manière précise à l'une d'elles une variété quelconque de houille. C'est pourquoi l'on a établi dans le commerce des classes intermédiaires. Ainsi, les couches qui fournissent du charbon faisant le passage de la houille maigre à courte flamme à la houille grasse maréchale sont dites demi-grasses, quoique leur charbon soit de qualité bien différente de celui des couches *demi-grasses* qui sont comprises entre la houille flénu et la houille maréchale à longue flamme. De même entre les charbons flénu et les demi-gras proprement dits il existe une variété qui participe des propriétés de ces deux classes, et que l'on désigne sous le nom *flénu-gras*. Elle est très recherchée pour la fabrication du gaz d'éclairage.

ANGLETERRE

En examinant, sur la carte géologique du nord de l'Angleterre, d'une part le bassin du Durham, sur l'un des versants de la chaîne de montagnes qui court au centre nord de l'Angleterre, et d'autre part le bassin du Cumberland sur l'autre versant de la même chaîne, — on voit d'abord qu'une grande distance sépare ces deux bassins de ceux du Yorkshire et du Lancashire, placés au sud. On voit de plus que s'il est impossible de constater des caractères de relation entre les deux premiers bassins, il n'est guère plus facile d'en trouver entre eux-mêmes et ceux du sud. Par conséquent, nous pouvons considérer comme les régions houillères du nord, celles qui se trouvent au delà d'une ligne qui, partant de l'embouchure de la Tess à l'est, irait rejoindre, à l'ouest, Kendal et l'extrémité sud des lacs voisins.

Bassin du Northumberland et du Durham. — A peu près à égale distance de la mer d'Irlande, à l'est, et de la mer du Nord, à l'ouest, s'étend la large crête de la chaîne montagneuse dont nous avons parlé plus haut[1]. Formée du calcaire carbonifère, avec ses nombreuses subdivisions si bien étudiées dans les mines de plomb que renferme la contrée, cette chaîne laisse apparaître le *millstone grit* sur ses hauteurs, ainsi que sur les plateaux qui s'étendent sur plusieurs milles de longueur à l'est. Du côté de l'ouest, vers Penrith, elle s'arrête brusquement en accusant des

1. *La Houille et l'exploitation des houillères en Angleterre*, par Warington. W. Smyth, 1872.

dislocations qui remontent à la période primitive, tandis que de l'autre côté le terrain suit des pentes plus régulières à partir des sommets. De ce côté-là, les diverses formations inclinent peu à peu et régulièrement vers l'est ; à mesure qu'on s'avance vers la côte, elles accusent, dans l'échelle ascendante, leur ordre de stratification jusqu'aux couches de houille; puis elles sont enfin recouvertes par le calcaire magnésien et plongent bientôt après dans la mer. Le bassin de la Blythe, de la Tyne et de la Wear, qui emprunte ses noms aux trois rivières qui le traversent, présente entre l'île Coquet, au nord, et le voisinage de la Tees, au sud, une longueur de plus de 50 milles (80,5 k^{il}, 5) sur une largeur de 20 milles (32 k^{il}., 180), qui se continue en remontant jusqu'au delà de la Blythe, où elle commence à décroître.

La surface totale de ce bassin est de 705 milles carrés (environ 1819 kilomètres carrés). Dans la région ouest, on n'exploite que quelques couches, celles du fond; mais c'est dans la direction de la ligne qui passe par Newcastle et Durham qu'on rencontre la riche série des couches exploitables. A partir de l'embouchure de la Tyne, et suivant une direction sinueuse pour arriver près de Bishop Auckland en passant par Hougthon-le-Spring, apparaît le terrain permien, dont les assises sont nettement représentées par le calcaire magnésien, reposant çà et là sur le grès rouge.

Le manque de cohésion de ce terrain et sa nature aquifère à l'est de la ligne sinueuse que nous venons de tracer rendent d'une exécution très difficile les puits creusés dans cette région pour atteindre la houille. Jadis, confondant cette formation calcaire avec celle du calcaire carbonifère inférieur, on croyait que sa présence annonçait la limite du bassin houiller. Ce fut donc une entreprise bien hardie de la part de MM. Pemberton, lorsqu'un jour, se basant sur une étude plus vraie du terrain, ils se décidèrent à faire des recherches non loin de la côte, près de Sunderland. Le puits de Monkwearmouth, qu'ils creusèrent, est resté célèbre à cet égard.

Commencé en 1826, le fonçage dut traverser 330 pieds (près de 100 mètres) de la formation calcaire dont nous parlons, au milieu d'une affluence d'eau qui, vers la fin, ne s'élevait pas à moins de 136 hectolitres par minute. L'épuisement de cette énorme quantité d'eau se faisait avec des pompes qui continuèrent à fonctionner jusqu'au moment où l'on parvint à rendre le puits étanche au moyen d'un revêtement intérieur dit *cuvelage*. Enfin à la profondeur de 484^{m},40 le puits recoupa une première couche de houille, nommée Maudlin ou Bensham, et à 520 mètres plus bas, il atteignit la couche Hutton.

Comme on voit ces résultats révèlent un caractère curieux de la configuration du bassin houiller. Ainsi, les mêmes couches qui, à Sunderland, plongent sous la mer à 520 mètres, se rencontrent au nord et au sud à une profondeur moindre, et, continuant à se relever à mesure qu'on s'avance vers l'ouest, viennent affleurer à Howes-Gill, à 220 mètres de hauteur au-dessus du niveau de la mer, ce qui constitue une différence totale de niveau de 740 mètres. D'après cela, la section transversale du bassin semblerait donc être représentée par une couche courbe; mais comme les couches ont une tendance à plonger vers l'est, ainsi que le prouvent les puits creusés le long de la côte, il reste encore à déterminer si le point le plus bas de la courbe ne serait pas situé plus au loin sous la mer, auquel cas il faudrait

admettre l'existence d'un large gisement houiller sous le lit de la mer du Nord. Ces puits, ainsi que ceux plus récents de Ryhope et de Seaham, qui se trouvent un peu plus éloignés de la côte, n'ont pas encore atteint les couches les plus profondes, mais la succession de ces couches a été parfaitement reconnue dans les travaux moins profonds qui existent à l'ouest du bassin.

L'ensemble de toutes les couches reconnues depuis la plus profonde forme une épaisseur qui dépasse 600 mètres. C'est dans la première moitié inférieure que sont situées les plus riches. Dans ce bassin, comme en général dans tous les autres, l'épaisseur et les caractères d'une même couche présentent parfois tellement de variations entre deux puits éloignés qu'il devient souvent très difficile d'établir des analogies. Là, par exemple, un charbon sera reconnu excellent pour les machines à vapeur qui, sur un autre point, ne conviendra guère plus que pour les usages domestiques.

Dans une section quelconque du bassin, le nombre des couches reconnues exploitables s'élève en moyenne à douze, représentant une épaisseur totale de charbon de $15^{m},20$. Au grand avantage de l'exploitation, ces couches ont, en général, une allure régulière (inclinaison moyenne de 1 sur 20) et une épaisseur convenable de $0^{m},9$ à $1^{m},80$; en outre les qualités des houilles sont excellentes, et la solidité du toit, en permettant d'établir de larges voies de communication et de larges chantiers, rend le boisage peu coûteux.

Les seules difficultés qu'on rencontre proviennent de la profondeur à laquelle il faut descendre pour atteindre le combustible dans les nouveaux puits, des couches aquifères qu'on a à traverser et de la grande quantité de grisou qui se dégage de certaines couches. Les failles ne sont ni aussi fréquentes ni aussi rapprochées que dans les autres bassins, et les dykes de basalte qui traversent le district dans une direction est-sud-est, bien qu'ils altèrent la houille sur une étendue de plusieurs mètres, sont loin cependant d'y apporter des désordres comparables à ceux qui existent dans les bassins du sud — Staffordshire et de l'Écosse. La faille la plus remarquable est celle de $164^{m},50$, qui, apparaissant sur la côte près de Cullercoats, où elle déplace les couches de cette quantité, se dirige vers Gosforth et Blaydon, et de là, atteignant la chaîne montagneuse que nous connaissons, peut être considérée comme se prolongeant à l'ouest à travers la formation calcaire jusqu'au nouveau grès rouge aux environs de Carlisle. Sur cette dernière partie de sa course, le rejet, bien que variable, a eu pour effet de séparer du côté nord, une longue bande du dépôt houiller où sont venues s'installer les exploitations de Stublick, Midholm, Tyandall-Fell, etc.

Ce sont les différences de qualité que présentent les couches du bassin qui donnent lieu à un classement des houilles suivant le genre d'emploi auquel chacune d'elles convient le mieux. Ainsi, le meilleur charbon pour les usages domestiques, qui provient des puits bien connus sous le nom de Wallsend, se trouve dans la région comprise entre la Tyne et la Wear ; on en rencontre également entre cette dernière rivière et Castle-Eden, ainsi qu'aux environs des Bishop-Auckland. Le charbon pour machines à vapeur (densité plus grande et cendres blanches) s'exploite à 8 kilomètres environ au nord de la Tyne, tandis qu'on en extrait d'excellent pour faire du coke tout le long de la ligne des affleurements de l'ouest, depuis Wylam et Ryton, en descendant, jusqu'aux environs de Raby Park.

La production totale du bassin compris dans le Durham et le Northumberland, qui n'était en 1854 que de 15 651 925 tonnes, s'est élevée en dix ans (1864) au chiffre de 25 635 652 tonnes. Cet accroissement considérable est dû en grande partie au développement rapide qu'a pris l'industrie du fer du Cleveland, dans le nord du Yorkshire, industrie représentée en 1854 par 58 hauts fourneaux, et 1865 par 108 répartis dans trois districts. Mais la consommation du charbon a dû augmenter encore d'une manière notable depuis qu'on a expédié vers l'ouest des quantités énormes de coke pour le traitement des minerais d'hématite.

Bassin du Cumberland. — Dans la formation calcaire de la région montagneuse qui avoisine Alston, se trouvent deux ou trois petites couches d'anthracite (*crow coal*), qui n'ont que quelques centimètres d'épaisseur; on les a exploitées pour la cuisson de la chaux, mais la production est de peu d'importance au point de vue commercial. En revanche, lorsqu'on passe de l'autre côté de la grande faille dont nous avons parlé plus haut, on constate un changement remarquable. C'est ains que sur la ligne du chemin de fer de Newcastle à Carlisle, à Blenkinsop, on a exploité un excellent charbon (*bituminous coal*) dans une couche de $1^{m},80$ d'épaisseur, dont le toit est essentiellement calcaire. A mesure que les couches s'avancent vers le nord, leur nombre et leur importance ne font qu'augmenter. M. Boyd, qui les a décrites, leur attribue, dans cette région, une épaisseur moyenne de $0^{m},60$ à $1^{m},20$ et il en compte jusqu'à douze, qui sont en quelque sorte le prolongement des couches si estimées de l'Écosse [1].

Sur le versant ouest de la grande chaîne de montagnes calcaires, au voisinage du grand escarpement de Cross-Fell, on rencontre quelques indices qui trahissent les bouleversements qu'ont subis certaines couches de houille; mais la région importante du bassin du Cumberland n'apparaît distinctement qu'au sud de Wigton, où elle émerge au-dessus du grès rouge, pour s'étendre au-dessus de la formation plus ancienne de Lake District, du côté de Maryport et Workington, jusque près de Saint-Bees où elle se termine.

Ce bassin est loin de renfermer des couches aussi nombreuses et d'une épaisseur totale aussi grande que celui de Durham, car il a moins de 30 milles de longueur ($48^{kil},270$) sur 6 de large ($9^{kil},650$); en outre, la houille qu'il fournit est moins bonne pour les foyers domestiques et la fabrication du coke. Néanmoins, certaines couches sont remarquables par leur épaisseur, leur régularité et surtout par les circonstances dans lesquelles on les a exploitées. Pour bien en juger il faut aller jusqu'à Whiehaven, où, le long de la côte, sur une étendue de près de 2 milles ($3^{kil},220$), Lonsdale a fait exécuter de grands travaux qui s'étendent sous la mer jusqu'à une distance de 2 kilomètres. Les strates du terrain, légèrement inclinées vers la mer, sont dérangées par une succession de failles qui ont rendu les explorations extrêmement difficiles et coûteuses. Heureusement la nature de ces dérangements est telle qu'on a pu travailler en grande partie, au moyen de galeries horizontales partant des puits William, Wellington, Croft, et Salton, à des profondeurs ne dépassant pas 182 à 274 mètres.

Suivant M. Jars, des travaux auraient été entrepris en 1765, qui s'étendaient

1. *Transactions of the institute of Mining engineers.*

déjà jusqu'à un quart de mille sous la mer. Trois couches étaient alors en exploitation ; la première, celle du dessus, contenant, sur une épaisseur de 1m,50, un charbon en quelque sorte pierreux, servant à la fabrication du sel ; la seconde (Bannock band), située à 157m,10 plus bas, et la troisième ayant 3 mètres de puissance. Des rails de bois existaient dans la mine, et l'épuisement des eaux était fait au moyen de quatre pompes à feu, dont deux étaient établies au bord de la mer. M. Jars ajoute que le feu grisou (*fire damp*) semble avoir apporté des entraves à l'exploitation, et il cite comme un fait remarquable que déjà à cette époque le directeur de la mine proposait aux autorités de Whitehaven de placer des tuyaux de plomb dans toutes les rues, et d'employer à l'éclairage de la ville le gaz qui se formait naturellement dans les travaux.

A Workington, les travaux ont été également poussés sous la mer ; mais ayant été conduits trop loin, jusqu'en un point où les couches se relèvent, et des précautions suffisantes n'ayant pas été prises, les eaux ont fait irruption en 1837 dans les galeries. Les conséquences de cette catastrophe ont été la mort de 36 ouvriers et la perte totale de la mine. Aujourd'hui les mêmes couches sont largement exploitées dans la région où elles se relèvent, c'est-à-dire à Clifton et aux autres mines situées dans la vallée de Derwent, ainsi que du côté de Maryport et de Wigton.

La production totale du bassin, qui était en 1854 de 887 000 tonnes, s'est élevée en 1864 à 1 401 500 tonnes.

Bassin de l'Écosse. — Le terrain carbonifère, en Écosse, s'étend de la côte d'Ayr, à l'ouest, jusqu'à l'embouchure du Frith of Forth, à l'est, sur une largeur irrégulière de 20 à 30 milles (32 kil. à 48 kil.). Considéré au point de vue de l'exploitation de la houille, il est divisé en plusieurs bassins distincts, tantôt par le soulèvement des couches inférieures stériles, et tantôt par la présence de masses considérables de roches ignées (le trapp porphyroïde du nord de l'Angleterre) existant les unes à l'état de couches, et les autres à l'état de dykes injectés au milieu de la formation houillère.

C'est dans le bassin de Midlothian, à l'est d'Édimbourg, qu'on peut bien juger, dans toute son épaisseur, de la richesse houillère du terrain. Là, dans un district de 9 milles (14kil,50) de longueur sur 2 ou 3 de large (3kil,20 à 4kil,80), on trouve des couches de charbon ressemblant, comme caractère et composition, à celles de l'Angleterre. La masse totale de la formation carbonifère, qui a environ 360 mètres d'épaisseur et qui est divisée par un banc intermédiaire de roches stériles de 60 mètres, renferme une douzaine de couches de houille, ayant en général de 0m,60 à 1m,50, parmi lesquelles l'une d'elles, dite la Grande-Couche (*the great seam*), présente, par exception, l'épaisseur de 2m,40 à 3 mètres.

Au-dessous de ces couches, on trouve le millstone grit, ayant 102 mètres, puis en descendant l'échelle des formations, on arrive au calcaire carbonifère, qui, au milieu d'une épaisseur totale de 477 mètres, renferme à peu près 17 couches de charbon ayant chacune 0m,50 à 1m,50, et séparées par de minces bancs de calcaire, dont les épaisseurs additionnées ne représentent guère plus de 12 mètres.

Dans la région inférieure du calcaire, la houille fait complètement défaut.

M. Matthias Dunn a donné en 1830 une intéressante description des travaux exécutés dans ce bassin, du côté des affleurements. D'après lui, on comptait à cette époque, à la mine de Niddrie, 24 couches exploitables, représentant au milieu d'une formation de 1303 mètres une épaisseur totale de 28m,50 de houille comprise entre la couche dite *gramacham* ou *diamant* au-dessus, et la couche dite *north-greem* au-dessous, cette dernière reposant pour ainsi dire sur le calcaire à *Encrinites*.

Le bassin du Fifeshire, tel que l'a décrit M. Landale, présente un groupe de couches qui a de la valeur. L'une d'elles, la principale, dite couche Dysart, atteint l'épaisseur extraordinaire de 6m,30 ; malheureusement, dans cette région, le terrain a été très disloqué par des failles et par la présence de roches ignées.

Si l'on passe à l'ouest, en traversant Clackmannan, Stirling et Linlithgowshire, on arrive aux importants bassins du Lanarkshire et de l'Ayrshire, dont les caractères distinctifs principaux sont de fournir des charbons de qualités extrêmement appréciées, tels que le *parrot-coal*, spécial pour la fabrication du gaz d'éclairage ; le *splint-coal*, qu'on trouve en couches moins épaisses et qui convient admirablement pour la métallurgie ; on y trouve en outre le précieux minerai de fer carbonaté, bien connu sous le nom de *black-band*, et qui pendant longtemps a été l'élément principal de la production des fontes si estimées de l'Écosse.

L'importance des bassins de l'Écosse est démontrée par ce fait, qu'en 1854 la production du charbon n'était que de 7 559 720 tonnes, provenant de 367 mines, et qu'en 1864 le nombre des exploitations, s'élevant à 497, a fourni 12 586 000 tonnes.

Bassin du Yorkshire et du Derbyshire. — Lorsqu'on suit la ligne de Leeds à Nottingham, on rencontre une succession non interrompue de gisements houillers d'une longueur de 65 milles (104kil,60), sur une largeur variant de 8 à 20 (12kil,80 à 32kil,20), et plongeant doucement vers l'est, où viennent en recouvrement et dans leur ordre de succession le grès rouge inférieur, le calcaire magnésien et le nouveau grès rouge. Limitée à l'ouest par les affleurements des couches, la houille est donc recouverte, à l'est, par des terrains de formation plus récente, sous laquelle elle s'étend probablement très loin.

Le terrain houiller, qui n'est en plein développement qu'à une distance de plusieurs kilomètres des affleurements, offre une épaisseur d'environ 900 mètres, et se distingue, dans ses assises inférieures, par des couches avec mur de pierre dure dite de *ganister*, et par la présence, au milieu des schistes, de coquilles marines. Les couches de houille les plus importantes, ainsi que celles de minerai de fer qui les accompagnent, sont en plus grand nombre dans l'étage inférieur de la formation. Les premières sont, en moyenne, au nombre de seize, embrassant une épaisseur totale de charbon de 15m,50. La plus remarquable est celle qu'on désigne sous le nom de *top-hard;* dans le Derbyshire, elle n'a que 1m,50 à 1m,80; mais en passant dans le Yorkshire, elle devient la couche *Barnsley-thick-bed*, qui n'a pas moins de 2m,70 d'épaisseur. Les houilles de ces régions les mieux connues sur le marché de Londres sont la houille dite *clod* ou *black-stone*, du Derbyshire ; la houille *silkstone* du sud du Yorkshire et la houille *Kilburn-coal;* cette dernière, l'une des plus estimées pour foyers domestiques, ne se trouve que dans le sud du Derbyshire.

On peut considérer les comtés que nous venons de citer, en y joignant toutefois celui de Notthingham, comme renfermant, sans solution de continuité, les plus vastes gisements de houille de l'Angleterre ; car la superficie qu'ils occupent peut être estimée à plus de 800 milles carrés (2071 kilomètres carrés). Mais ce qu'il y a de plus heureux dans cette situation, c'est qu'ils se prolongent vers l'est, ainsi que l'a démontré le puits si hardiment creusé à Shireoak, par le duc de Newcastle. Ce puits, ouvert dans le grès rouge, à une distance de cinq milles (environ 8 kilomètres) des affleurements, a non seulement recoupé la couche *top-hard* à la profondeur de 510 yards (466 mètres), mais a démontré que toutes les autres ne se trouvaient pas à des profondeurs exagérées, et que leur inclinaison n'est pas défavorable à une facile exploitation.

Bassin du Lancashire. — Bien que de forme moins régulière que les autres, et souvent recoupé par de grandes failles qui produisent des rejets de 91 mètres, le bassin du Lancashire n'en est pas moins un des plus importants. Lorsqu'on suit attentivement la direction des couches, on les voit passer à l'ouest de la chaîne de collines peu élevées qui semblent les séparer du Yorkshire, puis venir retrouver les autres couches dont l'existence a été constatée sur le versant opposé. Ce phénomène est surtout applicable aux houilles dites *ganister-coals*, à celles dont le toit renferme des fossiles, et à la couche Arley, qui est l'homologue de celle dite *black-shale* ou *silkstone*. Malgré les grandes dislocations produites par les failles, la disposition générale des couches a une grande analogie avec celle du bassin du Yorkshire, c'est-à-dire qu'elles inclinent vers la région des marais, et qu'après s'être développées sur une surface d'étendue variable, elles sont remplacées par le terrain permien et par le trias. Cependant l'épaisseur totale de la formation carbonifère, ainsi que le nombre des couches de houille, sont plus considérables de ce côté que du côté du versant est de la chaîne de collines.

M. Binney, qui a étudié avec soin ce bassin, a reconnu depuis longtemps qu'on peut diviser en trois parties son épaisseur totale, qui dépasse 2100 mètres.

1° La région supérieure, renfermant les calcaires particuliers d'Ardwick avec de nombreux poissons fossiles, et plusieurs couches minces de houille ;

2° La région intermédiaire, occupant à elle seule 1050 mètres, et contenant les couches de houille les plus importantes à partir de celles du bas, la couche Worsley, qui a $1^{m},20$;

3° La région inférieure, où se trouve la série des houilles dites *ganister-coals*.

Les principaux centres d'exploitation sont Saint-Helens, Wigan, Charley, Bolton, Manchester et le district plus éloigné de Burnley. Les couches ont généralement de $0^{m},9$ à $1^{m},80$ d'épaisseur ; l'une des plus estimées est celle que fournit l'excellent *cannel-coal* du Wigan, qui se rapproche souvent d'une autre couche renommée dite *king-coal*. Là, comme à Pendleton, à Patricroft, etc., près de Manchester, on rencontre des champs d'exploitation très étendus, ouverts à des profondeurs qui varient de 36 mètres à 548 mètres. Le nombre de couches de plus de $0^{m},60$ est, en moyenne, de 16 à 20, et d'après M. Hull, qui en a fait l'estimation pour le service géologique, la surface totale occupée par ces couches est de 217 milles carrés (près de 560 kilomètres carrés).

Bassin du Cheshire — Au bassin du Lancashire vient se souder, à l'est et au sud, celui du Cheshire, en sorte qu'une bande étroite de ce dernier présente avec le premier une grande analogie dans la succession des couches.

L'exploitation du bassin du Cheshire offre un intérêt tout spécial en raison du remarquable puits (le plus profond de l'Angleterre) creusé par M. Astley, à Dunkinfield. Ce puits, qui descend à la profondeur de $628^{m},40$, a été ouvert à la mine *Black-mine* et n'a pas recoupé moins de 22 couches exploitables. Le bassin se termine vers Congleton, et n'est séparé que par un intervalle étroit de celui de Staffordshire nord.

Bassin du Staffordshire-Nord. — Dans celui-ci se présente un curieux phénomène; les couches de la formation sont repliées sur elles-mêmes, en sorte qu'elles présentent une épaisseur de 1500 mètres, se divisant comme suit :

1° Région supérieure, ayant 300 mètres; elle ne renferme que quelques minces lits de houille; mais elle offre à la céramique des argiles rouges qui reçoivent de nombreuses applications;

2° Région suivante, d'une épaisseur de 300 à 426 mètres, et comprenant les couches de charbon et de minerai de fer dites *pottery coals and ironstone measures;* les premières sont au nombre de 8 à 13, dont les plus épaisses ne dépassent guère $0^{m},60$, et les secondes au nombre de 10 à 12;

3° Région des couches épaisses inférieures, contenant la série des houilles de première qualité pour foyers, depuis la houille dite *ash* jusqu'à la houille *wimpenny* inclusivement; les couches sont au nombre de 17 à 18; le minerai de fer est rare ou absent;

4° Région des couches les plus basses, ayant 240 mètres, et ne renfermant qu'un petit nombre de couches minces (de 2 à 4).

On peut, en négligeant les couches qui ont moins de 2 pieds, compter dans certaines parties de ce bassin tantôt une épaisseur de 42 pieds de houille, représentée par 40 couches, et tantôt une épaisseur de 32 mètres, attribuée à 24 couches. A ces richesses il faut joindre celles que fournissent les remarquables couches de minerai de fer carbonaté; elles se rencontrent au nombre de trois ou quatre, ayant une épaisseur variable qui atteint quelquefois $1^{m},80$, et contenant une multitude de coquilles bivalves du genre *Anthracosia*. Au voisinage de ces couches se trouve une bande mince d'un calcaire d'eau douce rempli de *Spirorbis carbonarius;* ce calcaire reste analogue à ceux d'Ardwick, près de Manchester, et à celui qu'on rencontre, avec les mêmes coquilles, dans le sud du bassin de Shrewsbury, ainsi que dans celui du Warwickshire.

Les limites du bassin sont formées à l'est par les affleurements situés contre les collines de millstone-grit, et à l'ouest par le nouveau grès rouge sous lequel plongent les couches; au sud, elles sont représentées par une ligne dont les irrégularités sont produites par des dislocations et par la présence du terrain permien, qui vient en recouvrement.

Bassin du Denbighshire et du Flintshire. — Près d'Oswestry, où le calcaire carbonifère s'élève en forme de promontoire, on voit apparaître brusquement une bande de couches de houille contre la chaîne des collines qui s'étendent de Ruabon

et Mold, à Mostyn, vers l'embouchure de la Dee. Ces couches ne sont pas nombreuses, mais en revanche quelques-unes d'entre elles, comme les couches dites 3-*yard* et 5-*yard* (2m,70 et 4m,50), sont remarquables par leur épaisseur exceptionnelle, d'où elles tirent leur nom. En outre, on a découvert, près de Mold, une couche fournissant de la houille *cannel*, qu'il n'est pas sans intérêt de signaler. Bien que ce bassin du Denbighshire et du Flintshire semble limité à l'est et au nord-est par les terrains du nouveau grès rouge qui le recouvrent, il est probable que la houille se prolonge sous ces terrains et qu'on pourra la rencontrer à de moyennes profondeurs.

Bassin du Shropshire. — Dans le bassin du Shropshire, le district de Coalbrookdale est l'un des centres d'exploitation auxquels se relie intimement le développement sidérurgique de l'Angleterre. L'épaisseur totale des couches n'est ici que de 300 à 360 mètres, et encore cette épaisseur ainsi que le nombre des couches diminuent-ils rapidement à mesure qu'on s'avance vers le sud. Ainsi à Donington, on ne trouve déjà plus que 16m,50 de charbon ; à Lightmoor, 12 mètres, et 4m,80 à Amies, près Broseley. C'est au sud de cette dernière ville qu'existent ces fameux minerais de fer, si estimés au nord de la Severn, et que fournit la couche connue sous le nom de *crawstone*. Les caractères géologiques de cet intéressant district ont été décrits, d'une manière toute particulière, par Prestwich, dans le volume V des *Geological Transactions ;* on trouvera également des renseignements détaillés sur les minerais de fer, dans un mémoire intitulé : *the Iron Ores of Great Britain*[1].

Bassin du Staffordshire-Sud et du Worcestershire. — La région du Staffordshire-Sud et du Worcestershire est appelée vulgairement le pays noir. La surface du bassin n'a pas une grande étendue, à peu près 90 milles carrés (232,90 kilomètres carrés), et l'épaisseur totale du terrain houiller n'est guère que de 540 mètres ; mais l'existence dans la partie sud, aux environs de Dudley, Bilston et Wolverhampton, de la couche dite 10-*yard* (épaisseur de 7m,20 à 10m,80) a donné à ce bassin une importance incomparable.

Le caractère ingrat que possède la surface s'est retrouvé dans les profondeurs du sol ; aussi les travaux qu'on a faits pour exploiter la remarquable couche dont nous venons de parler pourraient-ils être cités, dans l'art des mines, comme un modèle dont nous aurions lieu d'être fiers si malheureusement de nombreuses catastrophes n'avaient fait presque partout des victimes et donné lieu à des pertes considérables de combustible.

On avait cru longtemps que le bassin du Staffordshire méridional était limité vers l'est par une sorte de barrière passant par West Brunswick, et qu'il n'y avait aucune chance de rencontrer de la houille au delà, sous les couches permiennes. Cependant la Compagnie de Sandwell Park, sous la direction de M. Henri Johnson, n'a pas craint de s'aventurer dans ces régions, et sa hardiesse a été récompensée par un plein succès ; d'après M. Ketley[2], le sondage de Sandwell

1. *Memoirs of the Geological Survey*; 1862.
2. *Géol. Mag.*, 1876, p. 193.

a rencontré, à 100 mètres de profondeur, des schistes rouges avec nombreuses plantes fossiles qu'on a d'abord rapportées au permien. A 200 mètres on trouvait un lit de houille reposant sur une argile à stigmaria qui contenait plusieurs espèces identiques avec celles des schistes rouges. M. Ketley en conclut que ces derniers avaient été classés à tort dans le permien et qu'il y faut voir du terrain houiller. Il nous semble que c'est seulement un fait de plus à ajouter à tous ceux qui établissent l'intime liaison du terrain houiller supérieur avec la formation permienne[1]. Ce qui confirme cette conclusion, c'est que les couches de houille découvertes à Sandwell sont inconnues jusqu'ici dans le terrain houiller proprement dit, et que, en les attribuant à cet étage, on serait conduit à lui donner une épaisseur supérieure à celle qui a été reconnue dans tout le reste du Staffordshire.

Bassin du Warwickshire. — Au sud-est de Tamworth la région des marnes rouges révèle la présence de la houille sur une étendue d'une vingtaine de kilomètres, se dirigeant par Nuneaton et Atherstone, à peu près comme la ligne que suit, au sud-est, le chemin de fer de la vallée de la Trent.

L'épaisseur totale de ce bassin est de près de 900 mètres; mais la moitié inférieure en est stérile, et la moitié supérieure ne contient que cinq couches d'une épaisseur totale de 7^{m},80.

Le peu d'étendue de ce bassin qui n'a que 30 milles carrés de superficie (77,60 kilomètres carrés) n'a pas permis à l'industrie de cette région de se développer beaucoup jusqu'ici; mais il ne faut pas oublier que le nouveau grès rouge qui entoure en grande partie ce district fournit des indications précieuses, et un jour viendra sans doute où d'heureuses recherches démontreront l'extension de ce bassin.

Bassin du Leicestershire. — Dans le Leicestershire, la région houillère productive se présente d'elle-même, après un intervalle de quelques kilomètres de la formation de grès rouge qui vient en recouvrement. Ici les couches de houille sont plus nombreuses que précédemment; on en compte dix exploitables, ayant ensemble une épaisseur de 13^{m},50. A la mine de Moira, près Ashby-de-la-Zouch, on a largement attaqué la principale couche (*main seam*) qui a 3^{m},60. Jusqu'ici on s'est contenté d'en exploiter la partie supérieure qui est la plus riche, réservant pour l'avenir le charbon du dessous, qui est de moins bonne qualité.

Jusqu'ici on n'a exploité ce bassin que sur une surface de 15 milles carrés (38,80 kilomètres carrés); mais sur différents points du terrain qui s'étend au delà, on a déjà formé plusieurs puits qui ont démontré la présence de la houille sous les assises de la formation qui la recouvre.

Il est intéressant de comparer la production des districts houillers que nous venons de décrire, pendant la période décennale comprise entre 1854 et 1864.

1. *Revue de géologie*, t. X, p. 113.

	Production houillère. En 1854		En 1864.	
Yorkshire	7,568,900	tonnes	8,941,744	tonnes.
Derbyshire	2,442,796	—	4,557,811	—
Nottinghamshire	825,676	—	808,650	—
Lancashire	9,216,707	—	11,702,950	—
Cheshire	798,597	—	835,091	—
Shropshire	1,096,200	—	1,167,250	—
Staffordshire et Worcestershire	7,612,500	—	11,651,748	—
Warwickshire	258,825	—	765,510	—
Leicestershire	445,585	—	905,857	—
Nord du Pays de Galles	1,160,145	—	2,016,865	—

Bassin de Bristol et de Bath. — Entre les collines de Mendip au sud et les environs de Wickwar, sur une longueur de plus de 25 milles (40 kilomètres), apparaît une large surface de terrain houiller, recouverte en grande partie par le grès rouge, le lias et l'oolithe. Au sud, à l'ouest et au nord-est du périmètre de cette surface, les assises qui renferment de la houille reposent sur le calcaire carbonifère, tandis qu'on est encore dans le doute sur leur véritable délimitation à l'est. dans la région où elles passent sous les oolithes de Bath.

L'épaisseur totale des formations au-dessus du millstone gritt ou roche de Farewell est d'environ 1500 mètres; mais dans la partie supérieure, sauf sur quelques points qui renferment encore quelques-unes des meilleures houilles pour foyers domestiques, il y a dénudation complète, et le charbon a été emporté avant la formation du dépôt de grès rouge. Ainsi dans le riche district du nord-est de Bristol, les couches supérieures semblent faire défaut, tandis qu'au voisinage de Radstock et de Midsomer-Norton, elles constituent un bassin très intéressant dans lequel sont ouvertes les mines du prince de Galles et de lady Waldegrave. Quelques-uns des puits n'atteignent cependant ces couches qu'à une certaine profondeur; à Clandown par exemple, il faut, pour y arriver, descendre jusqu'à 366 mètres, dont 75 mètres appartiennent aux seuls terrains de recouvrement; et lorsqu'on veut passer à un autre groupe de couches de houille, on se trouve en présence d'un nouvel intervalle stérile à franchir, qui n'a pas moins de 182^{m},80. Ce second groupe, qui occupe une surface beaucoup plus large que le premier, est exploité à Farrengton, Gurney, etc.

En suivant l'ordre des formations vient immédiatement au-dessous une masse épaisse de grès, désignée sous le nom de *Pennant* (fig. 89) et accusant parfois la contexture du millstone gritt. Après le pennant vient une série de schistes contenant un grand nombre de couches de houille, dont quelques-unes sont exploitées à Bedminster, à Straton-oun-the-Fosse, etc. Enfin, les couches les plus basses, celles qui avoisinent le calcaire, ont été attaquées à Vobster, à Ashton et à Nailsea.

Chose curieuse et bien digne de remarque, les méthodes d'exploitation employées dans la région sud de ce district, jointes à certaines circonstances locales favorables ont permis d'exploiter des couches dépassant à peine 0,50 d'épaisseur ; on a même vu, dans l'une des plus minces, l'épaisseur se réduire sur certains points à 0^{m},275.

Il suit de là qu'on peut compter sur un nombre relativement important de couches exploitables.

Si l'on voulait estimer la quantité de charbon contenue dans le bassin dont nous nous occupons, il faudrait, pour ne pas faire d'erreur, avoir égard à cette circonstance, que certaines parties des couches les meilleures sont si dérangées et si étranglées qu'elles ne peuvent pour ainsi dire fournir que des menus et sont, par conséquent, sans valeur commerciale.

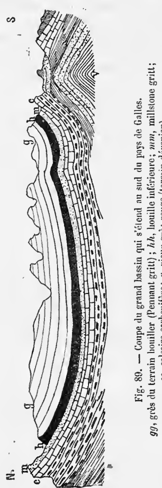


Fig. 89. — Coupe du grand bassin qui s'étend au sud du pays de Galles. *gg*, grès du terrain houiller (Pennant gritt) ; *hh*, houille inférieure ; *mm*, millstone gritt ; *cc*, calcaire carbonifère ; *v*, vieux grès rouge (terrain dévonien).

Enfin, comme dernière particularité à noter, les dislocations des couches sont telles, à Radstock et à Cloudown, qu'elles sont repliées sur elles-mêmes de manière à présenter sur une étendue de 50 à 200 et même 300 yards (45^{m},70 à 182^{m},80 et 274^{m},20), une double bande du même charbon.

Bassin du Gloucestershire. — Le petit gisement dont la surface extérieure est presque entièrement recouverte par la forêt de Dean, et dont la surface inférieure repose sur le calcaire carbonifère, est un excellent type d'étude à cause de la forme exacte de bassin qu'il présente, ses couches plongeant, en effet, régulièrement de la périphérie vers le centre. Son étendue est d'environ 34 milles carrés (87,70 kil. carrés), et la régularité d'allures de ses couches est telle qu'on les regarde comme parfaitement connues sur tous les points, bien qu'elles n'aient pas encore été attaquées partout par des puits.

La formation houillère a une hauteur d'environ 690 mètres ; elle renferme, principalement dans l'étage inférieur, onze couches de houille variant depuis $0^m,45$ jusqu'à $1^m,50$ et représentant une épaisseur totale de $8^m,10$.

Entre la couche Churchway et la couche Cobford Highdelf qui vient en-dessous, on exploite des bancs importants de grès, dont la qualité se rapproche du pennant de Bristol.

Plusieurs des couches intermédiaires sont remarquables par le grand nombre et la variété des plantes fossiles qu'on rencontre au toit des galeries, tandis que la couche épaisse inférieure dite Coleford Highdelf, qui a de $1^m,20$ à $3^m,15$ ne renferme que des sigillariæ et de gros troncs d'arbre d'espèce commune.

Les minerais de fer font presque constamment défaut dans la formation houillère ; mais cette absence est largement compensée par le magnifique oxyde de fer brun qu'on trouve en abondance dans les dépôts irréguliers de la région supérieure de la formation calcaire.

Bassin du Devonshire. — Au nord du Devonshire, les environs de Bideford présentent plusieurs petites couches de combustible qui ont été l'objet d'une exploitation assez étendue. Au point de vue commercial ces couches n'ont qu'une médiocre importance ; mais au point de vue géologique, elles offrent un certain intérêt, en raison de leur analogie avec celles qu'on rencontre dans la vaste région de schiste carbonifère du sud-ouest de l'Irlande.

Bassin du Pays de Galles-Sud. — Le magnifique bassin du pays de Galles-Sud, qui s'étend depuis Pontypool à l'est jusqu'à la base de Saint-Bride à l'ouest, sur une largeur de 12 à 16 milles (19 à 25 kilomètres), occupe, principalement dans les contrées de Monmouth, de Glamorgan et de Carmarthen, une superficie d'environ 900 milles carrés (près de 1330 kilomètres carrés), et n'est pas moins remarquable par l'épaisseur qu'y montre le terrain houiller que par la variété et l'excellence de ses produits. Appuyé sur le calcaire qui forme, au nord, au sud et à l'est de ses limites, des collines élevées, il affecte une forme allongée et présente une surface accidentée d'une manière pittoresque, sillonnée de plusieurs cours d'eau coulant principalement, soit au nord, soit au sud, et au milieu de laquelle de nombreuses exploitations sont ouvertes. Les dislocations sont très fréquentes et suivent une direction plus régulière vers le sud. D'un autre côté, les couches plongent suivant une inclinaison tellement rapide qu'elles atteindraient à des profondeurs où toute exploitation devient impossible, si elles ne se relevaient tout à coup vers la surface avec une inclinaison contraire par suite d'un pli dont l'axe se prolonge à une grande distance de l'est à l'ouest.

Dans le Monmouthshire, l'épaisseur de l'étage carbonifère est beaucoup moins importante que dans la partie la plus occidentale du bassin, et la profondeur maxima, pour atteindre la couche importante la plus basse, dite *black vein*, peut être estimée à 594 mètres, tandis que dans la région des vallées, il faudrait descendre jusqu'à 685 mètres pour trouver le dernier charbon exploitable. Ici la couche supérieure la plus remarquable est celle bien connue sous le nom de Mynydd Isslwyn, qui fournit du charbon pour foyers domestiques. Elle a $1^{m},65$, occupe le milieu de l'étage et a déjà été exploitée sur une grande partie de son étendue. En dessous se présente un banc de grès d'une grande épaisseur (le Pennant), et plus bas on retrouve la formation houillère comprenant d'excellents charbons pour la métallurgie, et des minerais de fer argileux auxquels les grandes usines de Pontypool, Ebbw Vale, Tredegar, etc., doivent leur prospérité.

Plus à l'ouest, les grès augmentent en épaisseur et sont recouverts par des terrains offrant quelques couches de houilles exploitables, qui semblent présenter leur plus grand développement au nord de Swansea. En poussant encore plus loin à l'ouest, à Llannelly, on se trouve en présence d'une surface comparativement étroite, se dirigeant vers l'est, où la formation houillère atteint toute son épaisseur, qu'on n'estime pas là à moins de 3000 mètres.

La région nord-est du bassin est principalement remarquable en raison de ses excellents charbons qui sont en partie *bitumineux*. Ceux qu'on trouve aux environs d'Aberdare ont, au plus haut degré, les qualités qu'on recherche pour les machines à vapeur (houilles à longue flamme, houille sans fumée). Aussi cette région a-t-elle été si vigoureusement attaquée par de nombreux travaux que sur certains points, à Aberdare surtout, le charbon de certaines couches est aujourd'hui épuisé.

De là vers l'ouest, la houille des affleurements sud reste bitumineuse jusqu'au delà de Llanelly, tandis qu'au nord du bassin elle devient anthraciteuse; et bientôt on ne trouve plus que l'anthracite dans la partie septentrionale du Caermarthenshire ainsi que dans le Pembrokeshire. Chose curieuse, le charbon des couches de Llanelly même continue à être bitumineux jusqu'à une distance de quelques centaines de mètres vers le sud, tandis qu'il se montre anthraciteux dans la direction opposée.

Voici quelle a été la production des districts de l'ouest, dans la période décennale finissant à 1865 :

	1854	1864
Gloucestershire et Sommersetshire. .	1 514 851 tonnes	1 979 259 tonnes
Monmouthshire }	8 627 500 —	4 088 927 —
Galles du Sud }		7 052 920 —

En examinant au point de vue géologique la constitution des terrains et les positions qu'occupent les différents bassins houillers de l'ouest, on est conduit à penser qu'ils ont dû être réunis dans l'origine et que celui de la forêt de Dean (Gloucestershire), si merveilleusement protégée contre toute dénudation par sa forme de cuvette, a bien pu servir de lien à ses plus vastes voisins.

Dans la région qui sépare Coleford des collines du pays de Galles (environ 32 kilomètres) on ne trouve que le vieux grès rouge, sur lequel a dû reposer

autrefois la formation houillère que l'action incessante des eaux de la mer a fait plus tard entièrement disparaître.

Bassins de l'Irlande. — Les bassins houillers de l'Irlande peuvent fournir au géologue un sujet d'études des plus intéressants; ne fournissant annuellement qu'une production totale de 125 000 tonnes de houille, ils n'ont que peu de valeur au point de vue commercial et sont malheureusement sans avenir. Qu'on explore longuement la région houillère montagneuse de Carlow, de Kilkenny et de Tipperary, tantôt en trouvant dans les terrains schisteux des fossiles qui rappellent ceux des étages inférieurs de la formation houillère du centre de l'Angleterre, tantôt en constatant les vastes dépôts de calcaire carbonifère qui règnent dans les parties basses du pays, — on arrivera bientôt à cette conviction que la nature a dû probablement doter largement l'Irlande de richesses qu'elle lui a reprises dans la suite. Les petits gisements de houille isolés qu'on rencontre aujourd'hui ne seraient donc que les restes des vastes dépôts primitifs, presque entièrement dénudés aujourd'hui; et comme ces gisements appartiennent indubitablement à l'étage le plus bas de la formation houillère, il n'y a rien à espérer des sondages qu'on pourrait tenter. Il est néanmoins digne de remarque que les assises inférieures de cette formation présentent une grande épaisseur, car au calcaire succèdent plus de 100 mètres de schiste houiller (*black shale*) comme dans le Derbyshire; puis viennent 150 à 200 mètres de *flagstones* (pierres plates) occupant une position analogue à celle du millstone grit de l'Angleterre.

Sur les points où la formation atteint 540 mètres, on ne trouve que quelques couches de houille anthraciteuse, en général très minces. Dans les gisements du comté de Cork, ces couches sont extrêmement brisées et comprimées; en outre, elles ont une allure incertaine. Au contraire, dans les comtés de Tipperary et de Castlecomer, elles forment des bassins d'une grande régularité. Au nord de l'Irlande, on rencontre des gisements très circonscrits à Tyrone et à Antrim; et, à l'exception de quelques points où la houille se montre de qualité bitumineuse, les couches ont, en général, les mêmes caractères que celles des districts méridionaux.

Il est heureux qu'on puisse remédier à la pénurie de houille en Irlande, en envoyant dans ce pays des charbons anglais par la Clyde, par Whitehaven, par la Mersey et par la Dee. Il ne faut pas oublier d'ailleurs que l'Irlande a de vastes et excellentes tourbières [1].

Ajoutons au point de vue purement lithologique que beaucoup de grès carbonifères de l'Irlande ne renferment guère que des éléments granitiques, pulvérisés et reconsolidés. M. Sorby [2], qui les a étudiés avec soin, a trouvé que les grains de quartz de ces grès sont plus analogues au quartz des granits de Norvège et de Suède qu'à ceux d'aucune autre région. La même remarque s'applique également à l'élément feldspathique quand il n'est pas trop altéré. En même temps cependant, M. Sorby a constaté que les grains de quartz de ces grès sont aussi anguleux

1. Voyez *La Houille et les Houillères en Angleterre*, de M. W. Smith.
2. *Mounthly microscopical journal*, 1877, p. 20 et 21.

que s'ils n'avaient jamais subi le moindre charriage ; ils ne peuvent certainement pas avoir voyagé très loin de leurs roches originelles et certainement pas aussi loin que la Scandinavie l'est de l'Angleterre.

Mais il n'est pas improbable que la péninsule scandinave s'étendait alors bien plus au sud-ouest qu'à l'époque actuelle et que ses prolongements étaient composés des mêmes roches qui forment aujourd'hui sa masse.

On a voulu tirer de cette remarque des conséquences quant à la géographie de cette région carbonifère.

Dans le sud de l'Irlande, le calcaire carbonifère vers Kilkenny a une épaisseur de 2000 à 3000 pieds et une extrême pureté ; mais quand on le suit au sud-ouest du côté de Waterford et de Cork, il s'amincit et bientôt du schiste prend sa place. Plus loin vers le sud-ouest, dans le comté de Kerry, de grandes masses de grès grossier connu sous le nom de grès de Coomhoola s'associent aux schistes.

Il serait sans doute difficile de trouver un meilleur exemple d'une couche du sol qui en un point est formée de calcaire épais et pur et qui graduellement devient sableuse jusqu'à ce qu'elle contienne une grande proportion de grès.

ALLEMAGNE DU NORD

Prusse. — Le terrain houiller de l'Inde, près Eschweiler, et de la Wurm, près Aix-la-Chapelle, présente deux bassins extrêmement tourmentés, renfermant sur une grande profondeur une réserve importante de combustible, et où sont établies des exploitations dont l'origine remonte à une époque déjà ancienne. Ils sont presque en continuité avec le terrain houiller de la Belgique.

Plus loin vers l'est, et dans la même direction, après avoir traversé la vallée du Rhin, on rencontre le large et riche bassin de la Ruhr ou de Westphalie, qui, bien que déjà exploité près de Dartmund, en 1302, n'a pris une véritable importance que dans ce dernier quart de siècle.

Ce bassin, qui présente des affleurements, comprend, en général, trois étages aux ondulations parallèles, renfermant un grand nombre de couches de houille qui peuvent se grouper en trois séries. La série supérieure fournit de la bonne houille, de qualité dite *bitumineuse*, la série intermédiaire de la houille demi-bitumineuse. La formation houillère du bassin présente une épaisseur de 2200 mètres, ne renfermant pas moins de 117 couches, qui représentent une masse totale de 88 mètres. Près des trois quarts de ces couches ont une épaisseur qui les rend exploitables ; elles sont aujourd'hui parfaitement reconnues et déterminées par trois ou quatre caractères spéciaux qui persistent dans toute l'étendue du district. Dans ces derniers temps, de nombreux sondages à travers la formation crétacée qui recouvre le terrain houiller dans la région du nord ont démontré dans les couches l'existence de plusieurs plis venant augmenter de plus du double la richesse du bassin ; suivant les estimations, cette richesse ne s'élèverait pas à moins de 39 800 000 000 de tonnes de houille.

Un autre bassin de la Prusse, et peut-être le plus riche du continent, est celui de Saarbrück, situé sur la rive gauche du Rhin, au sud de la chaîne du Hunsrück.

Le terrain houiller présente là, ainsi que le charbon qu'il renferme, une épaisseur qu'on ne trouverait pas ailleurs en Europe. Une petite portion de ce terrain, ne contenant que les couches de houille inférieures, se retrouve à l'entrée de la Bavière rhénane, tandis que l'extrémité du bassin pénètre en France, dans le département frontière de la Moselle, ainsi que l'ont démontré un certain nombre de sondages et de puits entrepris dans cette région. Mesuré extérieurement, le bassin de Saarbrück s'étend sur une longueur d'environ 60 milles ($96^k,54$) sur 20 de large ($32^k,15$); ses assises inférieures, considérées sur la ligne qui s'étend de Bessingen à Tholei, atteignant l'énorme profondeur de 6000 mètres, il en résulte qu'une partie de la houille doit probablement rester à jamais enfouie, sans qu'on puisse l'exploiter.

Les plans et les coupes du terrain houiller, relevés avec le plus grand soin par les officiers des mines, sous la direction de MM. Nöggerath et de Dechen, indiquent que le nombre des couches ayant plus de $0^m,15$ est de 164, représentant une épaisseur totale de charbon de 101 mètres; sur ce nombre on en a reconnu jusqu'ici 77 exploitables, c'est-à-dire ayant plus de $0^m,60$, et comprenant une épaisseur totale de 72 mètres. D'après cela, on estime que la quantité de houille exploitable jusqu'à la profondeur de 625 mètres, dans les trois zones de Saarbrück, Saarlouis et Ottweiler, s'élève à 2790 millions de tonnes, chiffre qui représente à peine le dixième de la masse totale de combustible contenu dans les mêmes zones sur toute la hauteur de la formation.

« A l'exposition universelle de 1862, dit M. W. Smith, ce bassin était admirablement représenté, et l'on n'a pas encore oublié ces magnifiques spécimens des couches Callenberg, Schwalbach, Beust et Blücher, qui s'élevaient dans toute leur hauteur, 3 mètres, $3^m,61$ et $4^m,20$, contre les murs du palais de Cromwel-Road, et montraient des échantillons du charbon dont la Prusse fait aujourd'hui une large exportation en France. Une chose digne de remarque, c'est que, contrairement à ce qui existe en Westphalie et en Belgique, la houille dite *bitumineuse* ou *collante* est fournie par les couches inférieures, tandis que plus on remonte dans la série, plus elle devient sèche ou anthraciteuse. »

Deux autres bassins intéressants au point de vue géologique, mais dont la richesse ne saurait être comparée à celle des bassins précédents, sont ceux d'Iffenbüren (district de Tecklenburg en Westphalie) et du Piesberg, près d'Osnabrück. Cinq à sept couches y ont été reconnues et exploitées sur une petite échelle.

On a trouvé en Westphalie, dans les assises de la formation wealdienne du lignite d'excellente qualité, qu'on exploite sous le nom de houille pour les besoins locaux. Ce combustible, qui est tantôt collant et tantôt anthraciteux, forme, dans les districts de Tecklenburg, Minden, Osnabrück, etc., des couches dont l'épaisseur varie de $0^m,25$ à $1^m,10$.

Une autre région houillère de la Prusse, celle de Wettin et Löbejün, près de Halle, mérite une mention comme étant le lien qui rattache les bassins du nord-ouest à ceux de la Saxe. Bien qu'exploitée depuis longtemps, elle n'a pas une grande importance et figure pour un chiffre très faible dans les rapports sur la production totale.

A l'angle sud-est du territoire de la Prusse, nous rencontrons les bassins reculés de la Silésie, dont l'exploitation, comparativement à celle des autres, est encore peu développée.

Celui de la Basse-Silésie s'étend à travers les cercles de Landshut, Waldenburg et Glatry en Bohême, vers le sud-ouest ; celui de la Haute-Silésie occupe une partie des cercles de Ratibor, Rybnick, Pless, etc., et se développe d'un côté dans la Moravie et la Silésie autrichienne, tandis que, de l'autre, il passe par Beuthen en s'étendant jusque vers Krakau. Ce dernier bassin, dont l'exploitation ne remonte qu'à l'année 1784, est d'une importance qu'on n'a pas encore suffisamment appréciée.

Considéré dans son épaisseur maxima, entre Zabrze et les affleurements, il offre une masse de charbon qui n'a pas moins de 100 mètres, et qui forme des couches de $0^m,75$ et plus. Quant à son étendue, les cartes ne sauraient en donner une idée, car elle est difficile à délimiter, en raison du passage du terrain houiller sous les terrains de formation plus récente. Tout ce qu'on peut dire, c'est que si la masse totale de ce terrain semble avoir une épaisseur d'environ 3000 mètres, si une partie de la houille qu'il renferme se trouve probablement à des profondeurs où il n'est pas permis de l'exploiter, il n'en est moins probable qu'il reste encore une richesse disponible qu'on peut évaluer à plus de 50 000 millions de tonnes.

Ce bassin n'a pas sans doute encore été assez étudié dans toutes ses parties, pour permettre d'affirmer en toute certitude les évaluations qu'on fait pour l'avenir ; mais les travaux de MM. Oeyenhausen, de Carnall, de Krug de Nidda permettent d'avancer que le district des eaux supérieures de l'Oder fournira de la houille longtemps après qu'on aura brûlé la dernière tonne provenant des contrées de l'ouest de l'Angleterre.

Au point de vue du développement de la production, c'est le bassin de Westphalie qui tient la tête parmi tous ceux de la Prusse; en effet, sa position est éminemment favorable au bon marché des transports, et la vente de ses charbons a été singulièrement activée par le bas prix auquel il est possible de les vendre, et avec lequel ne peut lutter aucun des charbons du continent.

La Prusse, ainsi que le pays de Nassau et plusieurs autres régions de l'Allemagne, fournit du lignite dont la consommation est importante. Les bassins peu profonds qui renferment ce combustible appartiennent aux terrains tertiaires (généralement des grès) ; ils constituent de nombreux dépôts répandus sur une vaste étendue de pays, et présentent une importance spéciale dans la région basse du Rhin, dans le Westerwald, dans le Wetteran, sur les rives de l'Elbe et dans le district de la Thuringe.

Haute-Silésie. — Le bassin de la Haute-Silésie, qui se prolonge en dehors de la Prusse, en Pologne et en Autriche, occupe une grande étendue de terrain. Les couches du terrain carbonifère apparaissent quelquefois à la surface en formant des îlots séparés ; d'autres fois elles sont recouvertes par des formations postérieures. D'après les recherches géologiques faites en Pologne aussi bien qu'en Silésie, le terrain houiller se compose, sur toute son étendue, de deux étages : l'étage inférieur (culot), qui ne contient pas de combustible minéral, du moins en couches exploitables; l'autre, plus récent, est riche en couches de houille et forme, à proprement parler, l'étage productif du terrain houiller. Cet étage peut être divisé luimême en deux parties : une zone supérieure avec des couches puissantes de houille, et une zone inférieure avec des couches plus minces.

Le terrain houiller existe dans la partie centrale de Thuringerwald, où il forme des dépôts, avec couches de houille exploitable, superposés au granit et au micaschiste et traversés par une foule de filons de porphyre et de trapp. D'après M. Möhl[1], on y a trouvé de nombreux végétaux tels que *Calamites approximatus*, *C. cannæformis*, *Pecopteris arborescens*, *P. oreopteris*, *Odontopteris Schlotheimii*, *Annularia fertilis*, *Asterophyllites equisetiformis ;* ces espèces sont celles de la zone des fougères ou zone supérieure de M. Geinitz. Avant la découverte de ces fossiles au Moselberg, on ne connaissait, de la région, que des plantes permiennes, ce qui avait fait mettre en doute l'existence au terrain houiller dans cette contrée.

Saxe. — Les bassins houillers de la Saxe n'ont qu'une importance locale, et bien que les travaux géologiques auxquels ils ont donné lieu de la part de MM. Naumann, Cotta, Geinitz et von Gutbier appellent sur eux un certain intérêt, néanmoins ils ne paraissent pas destinés à exercer une grande influence sur la production totale européenne.

Celui de Zwickau, dont l'exploitation remonte à une époque très ancienne, et qui s'étend sous le nouveau grès rouge, offre des ressources pour l'avenir. Sur la rive gauche de la Mulde, où il est le mieux développé, il présente neuf couches avec une épaisseur totale de houille de 29 mètres.

Les géologues saxons ont classé les houilles d'après les plantes fossiles qu'elles renferment ; ainsi dans les couches inférieures de la Silésie sont les houilles à lycopodiacées, tandis que celles de Zwickau renferment principalement des houilles à *sigillariæ*, dites en allemand *pech-khole ;* au-dessus de ces dernières viennent les houilles à calamites, dont un exemple important est fourni par la couche dite *Russ-Kohle*, qui atteint parfois $6^{m},75$; enfin, en continuant à remonter la série, on trouve successivement la région des houilles à *annulariæ*, puis celle des houilles à fougères.

Il est encore deux petits bassins qui méritent une mention ; ce sont ceux de Haynichen et de Potschappel, que recommandent surtout leur position près de Dresde et le voisinage des célèbres mines de Freyberg.

La production totale de la Saxe (houille et lignite réunis) a été en 1863 de 3 366 049 tonnes. Sur ce chiffre il y a 1 931 000 tonnes de houille proprement dite, provenant de 88 puits, employant une population de 12 000 ouvriers.

On peut juger de l'augmentation rapide de la production de la Saxe par le tableau suivant, qui ne concerne que la houille :

1790.	6 252	tonnes.
1800.	12 586	—
1820.	13 195	—
1830.	23 495	—
1840.	158 340	—
1850.	852 600	—
1860.	1 598 422	—

1. *Neues Jahrbuch*, 1877, p. 414.

AUTRICHE

Les importantes et nombreuses forêts qui existent encore aujourd'hui en Autriche avaient, pendant longtemps, fourni assez de combustible pour qu'on n'eût pas senti le besoin de recourir sérieusement aux gisements houillers que possède le pays. Mais, dans ces derniers temps, le développement rapide de la navigation à vapeur, des chemins de fer et de l'industrie en général a changé la face des choses, si bien qu'aujourd'hui on exploite largement tous les gisements de combustible fossile.

La formation houillère proprement dite s'étend depuis la Basse-Silésie, dans un district limité de la Bohême, jusqu'à la base du Riesengebirge ; dans la Haute-Silésie, elle occupe une étendue considérable aux environs de Mährisch (Moravie autrichienne), et renferme de grandes exploitations.

D'un autre côté, on trouve au nord-ouest de Prague les bassins de Schlan et de Rakonitz, celui de Radnitz, et à l'ouest celui de Pilsen, représentant une surface totale de plus de 1552 kilomètres où les travaux sont poussés très activement. Enfin, dans le pays plat d'Elnbogen, Bilin, Commotau, etc., il y a des couches de lignite d'une remarquable épaisseur, ayant parfois 9 à 15 mètres, et dont les produits sont pour la navigation de l'Elbe l'objet de transports considérables.

La production houillère annuelle des différents États de l'Autriche dépasse 4 millions de tonnes. Le lignite entre pour près de moitié dans le chiffre de cette production, mais il faut dire aussi que quelques variétés de ce combustible ressemblent tellement à certaines houilles, que plus d'un vieux mineur de Newastle à qui on en a présenté s'y est trompé à première vue. On trouve des lignites de qualité supérieure à Fünfkirchen (Hongrie méridionale), à Steierdorf et sur quelques autres points du Bannat, où, sans même examiner les fossiles que récèlent les schistes, il est facile de reconnaître que ces gisements appartiennent au terrain du lias. On en rencontre également dans la formation tertiaire de la Hongrie et dans les Alpes autrichiennes, surtout en Styrie et en Carinthie, où les couches, dont les qualités sont très appréciées, atteignent les épaisseurs remarquables de 15, 25 et 36 mètres.

RUSSIE

Les travaux de Roderick Murchison et de ses collaborateurs, Keyserling et de Verneuil, ont démontré l'existence du terrain carbonifère inférieur le long des montagnes de l'Oural, sur un développement d'environ 1600 kilomètres. Çà et là quelques couches de combustible fossile se sont révélées, et bien que présentant de nombreuses interruptions, les terrains qu'on rencontre sur l'un et l'autre versant de la chaîne montagneuse ne permettent pas de mettre en doute leur existence.

On doit citer d'une manière spéciale le bassin du Donetz, situé entre le Don et le Dniéper, près de l'angle nord de la mer d'Azof. L'étage moyen du calcaire

carbonifère y renferme un certain nombre de couches exploitables, occupant l'énorme surface de 28 468 kilomètres carrés, mais ne contenant qu'un charbon de médiocre qualité. Aux mines de Lissitchia-Balka, la formation carbonifère, qui n'a pas moins de 270 mètres, présente plusieurs couches formant une épaisseur totale de houille de 9 mètres, ainsi que plusieurs bancs de calcaire à coquilles marines d'une hauteur de 15 mètres.

M. Leplay dit avoir trouvé 225 affleurements, avec plus de 120 mètres de charbon. En 1864, M. le professeur Helmersen a affirmé l'existence de près de 400 couches [1], et comme la présence de la formation houillère sous le terrain crétacé a été démontrée, il croit à l'existence probable de la houille dans les étages inférieurs, comme on en voit des exemples en Angleterre, dans le Northumberland et en Écosse.

Dans leur ouvrage traitant de leurs recherches sur les houilles de la Russie centrale, et publié en 1860, MM. Auerbach et Trautschold décrivent un bassin bien défini, situé dans les gouvernements de Tula et de Kaloga, et dont la superficie dépasse 33 644 kilomètres carrés.

D'après M. de Helmersen [2], les gîtes houillers de la Russie se divisent en quatre groupes :

1° Groupe des gisements situés sur les versants de l'Oural ;

2° Groupe des gisements situés dans les gouvernements de Novogorod, Moscou, Toula et Riazan, où la houille occupe un large bassin elliptique dont Moscou est le centre ;

3° Groupe de Samara, petite péninsule du Volga, près de Stavropol ;

4° Gisements du gouvernement d'Ekatcrinoslaw, où les couches carbonifères forment une chaîne de hauteurs appelée le Donetz.

Oural. — On trouve sur le versant occidental de l'Oural des gisements de houille dans les sédiments plus récents. Les couches plus anciennes sont de petites couches inexploitables de charbon anthraciteux qu'on a découvertes dans des roches dévoniennes de la mine de fer de Sikowsk. Dans les couches supérieures de cette formation, on trouve des accumulations en forme de nids, par exemple, sur les bords de la rivière de Terekla, dans l'Oural du Sud, non loin de l'usine de Bogoïavbuok.

Une beaucoup plus grande importance, relativement aux gisements de charbon, appartient aux couches du terrain carbonifère, qui forment une bande le long des monts Oural. La constitution de ces couches a été, dans ces derniers temps, beaucoup étudiée par les géologues, et l'on y a fait de nombreux travaux d'exploration dans le but d'y découvrir des gisements de combustible.

Il faut citer principalement les recherches faites par le gouvernement, sous la direction de M. Mœller, professeur à l'École des mines de Saint-Pétersbourg, dans les terres des usines d'Ilemok et d'Outkinsk (56 et 57°,5 de latitude N.), traversées par la rivière Tchoussvaïa, et aux frais de la Compagnie des mines et veines de l'Oural, dans le terrain de l'usine d'Alexandrowsk, qui se trouve beaucoup plus au N. (59°).

1. *Quarterly Journal of geological Society*, vol. XX.
2. *Des gisements de charbon de terre en Russie*, Saint-Pétersbourg, 1866.

Toutes ces recherches ont démontré que la formation carbonifère s'est déposée dans une mer ouverte et qu'elle se compose principalement de calcaires avec des pétrifications, des coraux et des brachiopodes. Au milieu de ces calcaires, il existe des couches de grès argileux avec des gisements de houille. Toute la formation carbonifère se divise en plusieurs parties distinctes.

En bas, immédiatement sur les roches dévoniennes reposent des grès quartzeux avec des couches d'argile; quelquefois, à la place de cet étage inférieur se trouve un conglomérat friable. Les couches de houille, trouvées jusqu'ici dans cet étage, n'ont aucun intérêt industriel. De ce nombre sont, par exemple, le gisement en forme de nids trouvé sur les bords de la rivière Sikachsi dans l'Oural du sud, non loin de l'usine de Bogoïamleusk, et la couche irrégulière de $0^m,50$ d'épaisseur trouvée dans la mine de Perwo-Wiatkinsk, dans le district de Kenowsk.

Les couches de cet étage sont souvent interrompues : et, dans ce cas, les couches inférieures du calcaire carbonifère reposent directement sur les roches dévoniennes. Cet étage de calcaire carbonifère se divise lui-même en deux parties :

La partie inférieure est un calcaire grossièrement schisteux, cristallin, de couleur variée mais toujours sombre, avec beaucoup de petits nids et de couches de silex. Parmi les nombreux fossiles qu'on y rencontre, les plus fréquents sont les suivants : *Syringopora reticulata*, *Lithodendron fasciculatum*, *Chonetes papilionacea*, *Productus giganteus*.

La partie supérieure se compose aussi de calcaire grossièrement schisteux, mais de couleur plus claire ; il est aussi cristallin et le silex y forme des couches continues. Les fossiles les plus répandus sont *Spirifer mosquensis*, *Productus semireticulatus* et *Productus giganteus*. Ce dernier fossile se trouve en moins grande quantité dans les calcaires de l'étage inférieure, et le fossile le plus caractéristique est le *Spirifer mosquensis*. On rencontre très souvent sur la pente O. de l'Oural le contact immédiat des couches de cette partie sur celle de l'étage inférieur.

Les deux étages dont on vient de parler sont équivalents au calcaire carbonifère inférieur (*Bergkalk*, *montain limestone*) de l'Europe occidentale, tandis que les deux étages suivants correspondent à la formation productive (*coal measures*). On trouve des grès quartzeux et schisteux à grain plus ou moins fin, quelquefois compacts, quelquefois micacés avec des végétaux fossiles carbonisés, mais en général mal conservés ; ils sont le plus souvent gris clair ou blanc et rarement foncés et ferrugineux. Ils deviennent souvent argileux. Avec les grès, on trouve des couches plus ou moins puissantes d'argile schisteuse avec des couches subordonnées de schistes siliceux, avec des intercalations et des petits nids de silex, contenant des restes de *Productus* et de *Spirifer*. La présence simultanée des végétaux et des coquilles d'eau douce (*Stigmaria Sokolowskii*, *Stigmaria cochleata*, *Pinites Merclini*, *Anodonta uralica*) dans les grès argileux et des mollusques marins dans les silex intercalés, prouve que ces couches se sont formées au bord de la mer. Cette formation a été suivie depuis la latitude de la ville de Tcherdin jusqu'à celle de la ville d'Ekatherinembourg. La partie méridionale de cette formation, le long de la rivière de Tchoussowaïa, est traversée par cette rivière non loin des embouchures de la rivière d'Ouswa, et ne se distingue pas par sa richesse en houille; mais, au contraire, la partie septentrionale en contient des masses considérables, surtout entre les rivières de Tchoussowaïa et de Jaïwa. Encore plus

loin, vers le nord, on sait qu'il existe, par exemple, sur les bords de la rivière d'Oulwitch, des traces de charbon, mais on n'en sait pas davantage, parce que le pays est excessivement sauvage et ne contient pas d'usines. Quelques-uns de ces gisements sont parfaitement reconnus (gisements de Goulakha et de Korchounowsk) et même riches (gisement de Lounwa), mais les couches de charbon ont une puissance très irrégulière et la masse de houille semble avoir été brisée, ce qui crée des difficultés pour l'exploitation. Plus au sud, le charbon n'apparaît qu'en couches très minces (domaines d'Llïmsk), et plus loin ces traces disparaissent (par exemple les domaines d'Oulkinsk).

Le caractère sporadique de ces gisements provient de leur formation riveraine, qui ne donnait lieu que rarement à l'accumulation des restes végétaux, le long des rivages des mers.

La puissance totale des couches du système carbonifère sur le versant O. de l'Oural est assez considérable ; ainsi, les recherches faites dans le domaine d'Ilimsk montrèrent qu'elle atteint 1500 mètres ; dans le domaine d'Outkinsk, les mêmes couches ont 2000 mètres de puissance ; la puissance du calcaire à *Fusalina* atteint 900 mètres. Sur la formation carbonifère repose l'étage d'Artinsk, qui forme la transition avec les couches permiennes qui le recouvrent.

Composition des houilles du versant ouest des Monts Oural :

	Carbone	Hydrogène	Oxygène et azote	Cendres	Soufre	Eau
Gisement de Lounwa :						
Couche de Nikitowsk . .	69,07	4,60	10,00	8,10	5,60	2,60
Couche de Podnikitowk .	79,40	5,50	7,15	4,40	2,90	0,60
Couche d'Anatoliewsk . .	77,40	5,40	6,90	5,60	3,80	0,80
Couche d'Andrewsk. . .	68,52	4,77	7,75	16,30	1,35	1,30
Gisement de Sisœwsk. . .	61,30 coke	»	»	15,20	»	»
Gisement Wachkoursk .	74,30	4,70	13,80	2,70	»	2,40
Gisement Lourowsk	71,90	5,02	15,05	7,50	»	0,50

Les dépôts carbonifères du versant est de l'Oural diffèrent un peu de ceux du versant ouest. Sur le versant oriental, le terrain carbonifère se divise en trois groupes ou étages. Le supérieur est formé de conglomérats de grès calcaires, de schistes calcaires et argileux, de couches subordonnées de calcaires, etc. On a trouvé du charbon dans cet étage, mais seulement en couches insignifiantes.

L'étage moyen se compose de calcaire avec *Productus giganteus*, *Pr. striatus*, *Pr. semireticulatus*, *Spirifer mosquensis*, etc.

L'étage inférieur se compose principalement de grès, d'argiles schisteuses et de schistes argileux avec des *Stigmaria ficoides*, etc. Tous les gisements connus sur le versant est de l'Oural se trouvent précisément dans cet étage. Les dépôts carbonifères de cette partie de l'Oural ne forment pas un bassin entier, mais ils apparaissent en bandes plus ou moins minces et ordinairement assez peu étendues dans le sens de leur longueur, c'est-à-dire du nord au sud.

Le premier gisement découvert dans cette région est celui de Soubologsk, qui se

trouve dans le district d'Ekatherinembourg, à 60 kilomètres au nord de l'usine de Kamensk, près de la rivière Pichma. Il se compose d'une couche de charbon gisant dans des argiles schisteuses et inclinée à l'ouest sous un angle moyen de 55°. Cette couche présente de place en place des étranglements et des renflements; quelquefois même elle disparaît, de sorte qu'on peut dire que le charbon forme une suite de lentilles. La couche atteint l'épaisseur de 2 mètres, et contient des intercalations d'argile schisteuse. Le gisement est étudié en direction sur une longueur de 3 kilomètres, et suivant l'inclinaison sur une étendue de 76 mètres.

L'exploitation de cette couche a été arrêtée en 1859. La houille contient :

Carbone	53,16
Matières volatiles	26,53
Cendres	20,13
	99,82

Le coke n'est pas fritté.

Le gisement des mines de Nicolsk et de Wero-Afanasiewsk, situé à 1500 mètres au nord du gisement de Sonhologsk, se compose de deux couches principales dirigées N. 45° O. et inclinées au sud-ouest sous des angles variables ; elles sont distantes d'un mètre l'une de l'autre. La puissance de la couche supérieure est de 1.40 et celle de la couche inférieure $0^{m}.70$. Les roches qui renferment le gisement sont des argiles schisteuses, remplacées par des grès au voisinage du calcaire.

La composition du charbon est la suivante :

Carbone	83,86
Hydrogène	3,78
Oxygène et azote	3,55
Cendres	8,22
Soufre	0,22
Eau hygroscopique	0,56
	100,19

Quelques variétés de ce charbon donnent du coke fritté.

Le gisement d'Egorchinsk se trouve près du village du même nom, dans les domaines de l'usine de Regewsk, près du rivage de la Bobrowka, affluent de l'Irbit. Ce gisement est le meilleur de tous ceux du versant oriental de l'Oural. Il a été exploité par deux mines. Il comprend 7 couches de charbon intercalées dans des argiles et dans des grès et plongeant plus ou moins fortement à l'ouest.

L'épaisseur des couches atteint $1^{m},40$. Le charbon ressemble tantôt à de la houille proprement dite, tantôt à de l'anthracite. Il a une texture nerveuse très originale et contient :

Carbone	81,80
Matières volatiles	13,20
Cendres	3,90
Soufre	0,06
Eau hygroscopique	1,10
	100,06

Le coke n'est pas fritté.

Le gisement de Fadinsk se trouve près du village du même nom, sur la rive gauche de la rivière Bagariak, dans les domaines de l'usine de Kamensk. Ici les dépôts carbonifères sont plus ou moins métamorphisés; les grès sont transformés en roches contenant du talc et de l'amphibole, les argiles schisteuses carburées en schistes graphitiques, etc. Le calcaire du toit est plus métamorphisé et contient des fossiles.

Le gisement contient une couche de charbon de $0^m,70$ de puissance. Ce charbon est anthraciteux et se rapproche beaucoup du graphite; sa composition est la suivante :

Carbone	84,58
Hydrogène	0,58
Oxygène et azote	0,28
Cendres	6,94
Soufre	0,16
Eau hygroscopique	7,76
	100,10

Russie centrale. — Au point de vue de leur âge les dépôts houillers de la Russie centrale ressemblent à ceux du Donetz dont nous parlerons un peu plus loin, mais sous le rapport lithologique et stratigraphique ils en diffèrent considérablement.

Dans le bassin du Donetz, les couches de grès, de schistes argileux et de calcaires apparaissent troublées et présentant une série de plissements. On trouve aux différents niveaux des charbons de toute espèce et d'excellente qualité.

Ici les conditions sont autres. Les couches de la formation houillère sont déposées en un énorme et profond bassin dont le centre est approximativement situé près de Moscou, et qui occupe une large bande, qui part des environs de la mer Blanche, traverse en se dirigeant vers le sud les gouvernements d'Arkhangelsk, d'Olonetz, de Novgorod, de Twer et de Smolensk, puis dévie vers l'est et traverse les gouvernements de Kalouga, de Toula et de Riazan.

Les couches supérieures sont formées de calcaires à *Spirifer mosquensis;* au-dessous vient le calcaire à *Productus giganteus*, puis viennent des couches d'argile bleue et de sable avec des dépôts subordonnés de houille de médiocre qualité. Toute cette formation repose sur le terrain dévonien.

Cette disposition du terrain carbonifère est différente de celle qu'on rencontre dans l'Europe occidentale, où la houille se trouve ordinairement dans des grès argileux superposés au calcaire carbonifère.

L'épaisseur des couches de charbon augmente près des limites dévoniennes du bassin et diminue vers le centre. En outre, les couches disparaissent en profondeur. L'étage qui contient la houille se trouve au sud et en partie au nord-ouest du bassin. Les principaux gisements appartiennent à la partie méridionale. Au delà de la limite méridionale du bassin, on rencontre des îlots séparés appartenant à la formation houillère contenant de la tourbe et entourés par des roches dévoniennes.

Ayant des limites parfaitement nettes à l'ouest et au sud, les dépôts de la formation houillère disparaissent sous des formations plus récentes du côté de l'est, mais elles reparaissent dans les gouvernements de Nijni-Novgorod et de Tombov.

Les charbons des environs de Moscou ont été analysés par MM. Iliénkoff, Auer-

bach, etc. D'après eux, la composition de ces charbons serait plus voisine de celle du lignite que de celle de la houille. Il ne donne point de coke fondu, il contient parfois une assez grande quantité de cendres, et, exposé à l'air, il tombe en poussière.

Le combustible de la mine Malevka a été envoyé à Dresde, et essayé sur le chemin de fer; il a été jugé supérieur de 10 à 15 p. 100 aux lignites, dont on se sert habituellement dans ce pays.

Les couches de charbon se trouvent généralement à une faible profondeur, au milieu de roches tendres. Examinés en grand, les gisements se présentent en couches horizontales, mais dans le détail ils ont un caractère ondulé qui, ajouté à de fréquents étranglements des couches, embarrasse beaucoup l'exploitation, d'autant plus que la friabilité des roches sablonneuses se change quelquefois en déliquescence. On ne rencontre pas de grandes failles, mais on en rencontre souvent de petites. Le charbon n'est pas très solide.

Les gisements du nord-ouest du bassin de Moscou se trouvent dans les gouvernements de Twer et de Novgorod, et se prolongent en zone depuis les Cherokhovitchi, sur la rivière Prikcha, par la ville Borowitchi, jusqu'à Verkhni-Volotchok et même au delà.

Les plus connus parmi ces gisements sont les suivants :

Le gisement de Prikcha, dont les couches présentent une puissance de $1^m,20$; le charbon est brun et renferme 16,5 pour 100 de cendres ;

Le gisement de Velikouchinsk, dont le charbon contient beaucoup de pyrite ;

A l'ouest de ce point, dans la localité appelée les « Sept-Sources », on a découvert deux couches de $1^m,50$ de puissance totale. Le charbon y contient jusqu'à 46 pour 100 de cendres ;

Les gisements de Verkhni-Volotchok présentent trois couches de $1^m,50$ d'épaisseur. En quelques endroits, le charbon se change en poussière et en suie. Il renferme alors jusqu'à 25 pour 100 d'humidité, et jusqu'à 10 pour 100 de cendres.

Sur la limite méridionale du bassin de Moscou, les gisements houillers s'étendent en zones non interrompues depuis la ville de Gisdra jusqu'à celle de Ranenbourg.

Un peu au delà se trouvent les gisements de Troïtzkoïe et de Krémenskoé, dans le district de Médine, le long du fleuve Loucha.

A l'est de l'Oha, des gisements de houille importants s'étendent le long de la rivière Oupa. Les plus connus sont :

Le gisement de Vialino, près du village du même nom, avec trois couches d'un mètre d'épaisseur, et le gisement d'Abidimo, qui est situé à 25 kilomètres au nord de Toula. L'étage houiller est, en ce point, recouvert par du calcaire carbonifère. Il contient deux couches ; la couche inférieure a $1^m,25$ de puissance et est exploitable ; elle se trouve à la profondeur de 15 mètres. Au-dessus du charbon on trouve du sable, que l'on est obligé d'extraire en même temps que le charbon. Avec celui-ci on alimente les fabriques de Toula et le chemin de fer d'Orel à Eletz.

Le gisement de Jasenki est situé près de la station de Jasenki du chemin de fer de Moscou à Koursk. On y connaît 5 couches de houille, d'où l'on a extrait en 1877 jusqu'à 40 000 tonnes de charbon très pyriteux.

Le gisement près de la station Lopatnikovo, dans le village Krasny-Cholmy (Collines-Rouges), contient à une faible profondeur deux couches de charbon dur et de bonne qualité, qui ont $2^m,10$ d'épaisseur.

Le gisement de Novoselebnoé, près du village de Kourakino, possède une couche de charbon, d'une allure ondulée, qui atteint jusqu'à 5 mètres de puissance, et qui se trouve à la profondeur de 30 mètres. Ce charbon est l'un des meilleurs de la Russie Centrale.

En 1877 on a extrait dans une mine de cette couche 22 000 tonnes de charbon, et dans une autre 30 000 tonnes.

Au sud et au sud-est de Bogoroditsk, dans la ligne de partage des eaux du Don et de l'Oupa, au milieu de roches dévoniennes, se trouvent quelques lots de terrain carbonifère où le charbon est exploité sur une assez grande échelle. Les principaux gisements sont :

Le gisement de Malevka, dont les dépôts de houille ont été explorés sur une surface considérable, se trouve à une profondeur très faible.

Quoique au-dessus du charbon se trouvent des roches tendres, l'argile schisteuse noire, qui se repose immédiatement sur la houille, se tient tellement bien qu'elle permet de tracer les galeries, qu'il est inutile de boiser. La couche de charbon est divisée par de petits lits d'argile blanche en trois parties, dont deux renferment de la houille mate et une couche de la houille brillante.

L'épaisseur de la couche est de près de 3m,50. En grand, elle est horizontale, mais dans le détail elle présente de nombreuses ondulations et de nombreux petits rejets. Au-dessous de la formation carbonifère se trouve le calcaire dévonien, qu est fissuré et qui absorbe l'eau, circonstance dont on profite pour l'épuisement des mines.

L'exploitation de ce charbon donne 33 pour 100 de menu.

La houille contient une grande quantité de cristaux de mellite.

A 7 kilomètres au sud de Malevka est située la mine de Tovarkovo. Le gisement occupe une étendue de 1100 hectares. Les travaux d'exploitation y ont constaté la présence de deux couches de moyenne puissance, à la profondeur de 20 mètres; à 2 mètres au-dessous de celles-ci, on trouve encore deux couches exploitables, d'une épaisseur totale de 3m,50. En 1877, on a extrait 28 000 tonnes de charbon.

Dans le gisement de Mouraévnia, la houille atteint 4 mètres de puissance. La couche supérieure, qui se trouve être la plus puissante, est à une profondeur d'environ 30 mètres. Elle contient une couche de 0m,50 de boghead, connue pour sa richesse en matières volatiles, richesse qui la rend particulièrement propre à la fabrication du gaz d'éclairage. En 1877, on a extrait 30 000 tonnes.

Le gisement de Tchoulkovo, à 7 kilomètres de la ville de Skopine, s'étend sur une étendue de 800 hectares. Une des couches est puissante de 1m,50 à 3m,50. Le toit et le mur de cette couche sont formés par de l'argile molle. On y extrait annuellement 85 000 tonnes.

Le gisement de Paveletz, à 25 kilomètres de Skopine, au bord de la rivière Temenka, possède trois couches d'une épaisseur de 2m,50. En 1877 on y a extrait 15 000 tonnes de charbon.

Donetz. — Le bassin du Donetz (approximativement 2 160 000 hectares), arrosé par le Don, le Donetz, le Calmiouss, le Miouss et le Dniéper, est extrêmement riche en houille (fig. 90). Ce combustible y a été découvert sous le règne de Pierre le Grand, qui dit à ce propos : « Ce minéral sera très utile à nos descendants, s'il ne

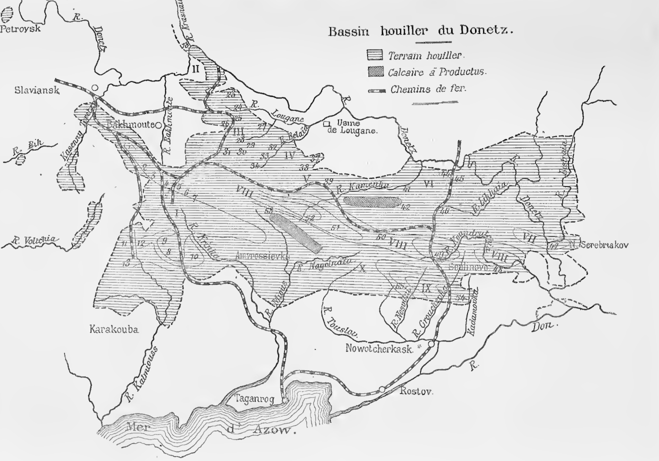


Fig. 90. — Carte du bassin houiller de Donetz. Les hachures horizontales marquent le terrain houiller et les hachures obliques le calcaire à *Productus*. Les numéros correspondent aux différents gisements dont plusieurs sont mentionnés dans le texte.

nous sert pas à nous-mêmes ». Cette prophétie fut longtemps à se réaliser. Pendant la guerre de Turquie sous le règne de Catherine II, l'État eut besoin de canons et de munitions d'artillerie ; les usines de l'Oural et de Moscou étaient trop éloignés ; et, avec des masses de houille sous les pieds, on dut se servir de charbon de bois.

En 1827, les recherches géologiques démontrèrent l'existence dans le bassin du Donetz de 25 gisements de houille ; d'après l'opinion de M. Kovalevsky, auteur de ces recherches, les houilles du bassin devaient appartenir aux terrains secondaires. A cette époque, l'exploitation de la houille était fort restreinte.

Bientôt après, les ingénieurs des mines Olivieri en 1828, et Lioubimov en 1833, explorèrent et décrivirent une partie du bassin. Ils découvrirent un grand nombre de nouveaux gisements de houille qui, d'après leur avis, devaient appartenir au terrain houiller.

Plus tard, les recherches de M. Ivanitzky ont démontré que le bassin du Donetz forme un bassin isolé de dépôts carbonifères reposant sur le granit, et recouvert aux extrémités par des roches plus récentes, au milieu desquelles réapparaissent en certains endroits quelques affleurements de terrain carbonifère.

En 1842, parut la relation des recherches entreprises, entre 1834-1839, par les savants français MM. Le Play, Malenveaud et Lalanne, sur les gisements houillers et les minerais du bassin. Cet ouvrage contient la description de 94 gisements avec 225 couches de houille.

L'exploration du bassin du Donetz a été poursuivie par Murchison, Verneuil, Cotta, Ludwig, etc.

Toutes ces recherches prouvèrent de plus en plus la grande richesse du bassin et excitèrent le gouvernement à faire dresser des cartes géologiques de la contrée avec indication spéciale des couches de la houille. Ce grand travail a été exécuté sous la surveillance de M. de Helmersen par des ingénieurs des mines russes.

D'après leur âge géologique les roches de ce bassin appartiennent aux terrains suivants : terrain cristallin, terrain carbonifère, terrain permien, terrain jurassique, terrain crétacé, terrain tertiaire et terrain d'alluvion. Les trois premiers sont les plus importants, car ils renferment les principaux dépôts de minéraux utiles.

Les roches cristallines ne se montrent à la surface que dans la partie S.-O. du bassin ; elles sont composées de granit, de gneiss, de micaschiste et de porphyre. Puis viennent des calcaires de couleur sombre à *Productus giganteus*. La présence de ce fossile prouve que ce calcaire appartient à l'âge inférieur du calcaire carbonifère, désigné ordinairement sous le nom de calcaire de montagne, et que les roches susjacentes doivent correspondre à l'étage productif du bassin de la Russie Centrale.

Indépendamment de la localité indiquée plus haut, le calcaire à *Productus* affleure dans deux autres points, où il forme des selles parallèles aux axes des plissements qui accompagnent le léger soulèvement du sol du bassin. Les couches de calcaire sont recouvertes par une série de roches, riches en minerais de fer et composées de grès et de schistes argileux, avec des couches subordonnées de calcaire et d'hématite brune. A la partie supérieure de cet étage on trouve aussi un petit nombre de couches de houille.

Les grès de cette série sont quelquefois traversés par des filons quartzeux qui contiennent des minerais de plomb argentifères. Selon M. Ludwig, ce groupe de

roches occupe la plus grande partie de la superficie du bassin et forme une série de cuvettes, remplies par la formation suivante, riche en houille, et qui a été divisée par M. Ludwig, d'après les caractères paléontologiques, en cinq étages.

Les couches de la houille se trouvent parfois en nombre considérable, mais leur puissance ne dépasse pas 2^{m},75.

Les gisements montrent une grande variété dans les quantités de la houille et dans leur allure; on y trouve toutes les variétés de la houille, depuis la houille à gaz jusqu'à l'anthracite; leur inclinaison varie extraordinairement. L'exploitation de ces gisements n'offre pas de grandes difficultés, grâce à l'absence de failles fréquentes, de niveaux aquifères et de grisou. Cette dernière circonstance peut être attribuée à la petite profondeur des mines actuelles.

Le bassin du Donetz a été subdivisé en plusieurs bassins secondaires.

Il y a d'abord celui de Kalmiouss-Toretz, qui occupe la partie occidentale du territoire de Donetz. Il occupe presque la sixième partie de tout le territoire du Donetz. Il a produit en 1875 jusqu'à 350 000 tonnes de houille, ce qui fait près de 42 pour 100 de toute la production du territoire. Ce bassin est formé principalement de couches de grès de schiste argileux, d'argiles schisteuses avec une petite quantité de calcaires. La houille qu'il contient est tantôt grasse, tantôt anthraciteuse.

Les gisements de houille commencent près du village Schterbinovka, et forment une bande qui s'étend vers le sud-est, puis change brusquement de direction pour former le bord méridional du bassin, traverse la rivière Krinka près de Nijne-Khangenkova, et se détourne vers le sud en se divisant en deux branches. Les couches supérieures forment le bassin de Makéevsk, qui est presque fermé, tandis que les couches inférieures tournent autour de ce bassin du côté de l'est et du sud. Puis les couches des deux branches se dirigent parallèlement vers l'ouest, traversent la rivière Kalmiouss et disparaissent sous les formations plus récentes. Dans la partie méridionale du bassin, on distingue clairement que les couches supérieures renferment de la houille grasse, et les couches inférieures de la houille anthraciteuse. Les principaux gisements de houille dans ce bassin sont :

A la branche du nord appartient le gisement de Schterbinovka, marqué 1 sur la figure 70 et qui contient 15 couches de houille dont 10 ont une puissance de 0^{m},90.

Le gisement de Nikitskoié (marqué 2), le long de la rivière Géléznaia, présente 14 couches de houille, dont 50 ont une puissance de plus de 0^{m},90. Toutes les couches ont une inclinaison vers le sud-ouest.

Le gisement de Gélézniansk (marqué 3) contient 16 couches, dont une atteint 2^{m},70 de puissance.

Dans le gisement de Korsounsk (marqué 4) sur la rivière Karsoun, affluent de la rivière Krinka, à 500 mètres de la ligne du chemin de fer de Kharkov-Azov, on trouve 8 couches de houille, inclinées vers le sud-ouest. Cette mine occupe, au point de vue technique, la première place parmi toutes celles de la contrée.

La houille est exploitée par gradins renversés, et l'on remblaye.

Le gisement de Sophevka et Nérovka (marqué 5), le long de la rivière Sadka, contient 19 couches de houille fortement inclinées, ayant une puissance qui atteint 1^{m},50. Les couches ont été reconnues sur un parcours de 4200 mètres.

Dans le gisement de Volintzovka (marqué 6), la puissance des couches atteint $2^m,40$, et dans le gisement de Mikhaïlovka, sur la rivière Boulamire, $1^m,40$. L'inclinaison des couches de cette dernière ainsi que les qualités de la houille sont très variées. Dans la partie sud-est, on remarque des affleurements de houille anthraciteuse en couches très inclinées.

A mesure qu'on s'éloigne vers le nord-est, les couches se rapprochent de la position horizontale et la houille devient plus grasse.

La branche du sud ne devient importante qu'à l'ouest de la rivière Krinka, où elle se subdivise en deux étages.

A l'étage supérieur se rapporte le petit bassin secondaire de Makéevsk (marqué 8), le long de la rivière Klinovaia. Ce bassin a la forme d'un triangle, dont le sommet, situé du côté du nord, est ouvert; les couches font en ce point un brusque détour et se dirigent vers la rivière Kalmiouss. Dans la partie méridionale et élargie du bassin l'inclinaison des couches est insignifiante ; elle est au contraire très forte dans la partie septentrionale et rétrécie. La couche principale a une puissance de $1^m,60$; elle est exploitée ainsi que deux autres couches dans la partie méridionale du bassin.

La houille du petit bassin secondaire de Makéevsk (étage supérieur) donne de 68 à 74 pour 100 de coke. La quantité des cendres est de 0,8 à 1,7 pour 100, et celle du soufre de 1,2 à 3 pour 100.

Les houilles de l'étage inférieur sont semi-anthraciteuses et contiennent 3,76 pour 100 de cendres.

Le long de la rivière de Kalmiouss, on exploite les couches de deux étages. Au nord se trouve d'abord le gisement d'Alexandro-Grigorievsk (marqué 11 et 12), qui comprend deux couches, puis viennent ceux de Berestoro, Jouzoro (15), Tchébotarevo, Smolianinovo. Les houilles des gisements du nord sont plus grasses que celles des gisements du sud. Toutes les couches ont une faible inclinaison vers le nord.

Près de la rivière Kazennoï-Taretz, dans le voisinage des villages Grodovka (16) et Novo-Ekonomitchesskoié, on a trouvé des couches de houille dont la puissance est de $1^m,10$ avec une faible inclinaison vers le nord-est. Les roches qui accompagnent la houille se poursuivent sur une longueur de 12 kilomètres.

D'après les recherches de M. Briot, cette houille se rapproche du boghead, mais elle contient malheureusement beaucoup de soufre.

Le bassin de Lissitchansk occupe la partie nord-ouest du bassin de Donetz, sur les deux rives de la rivière du même nom et de la rivière Krasnaïa, son affluent de gauche. Ce groupe est entouré de tous côtés, sauf du côté du sud, par des formations récentes.

Les couches de ce groupe forment deux selles ; celle du nord porte le nom de Gloukhovsk (marqué 18) et celle du sud celui de Lissitchansk. Dans la partie occidentale de la selle du nord, la houille était exploitée autrefois près de Novo-Gloukhov; la puissance des couches dans cette région ne dépasse pas $0^m,75$.

Dans la selle de Lissitchansk, il y a 7 couches ayant ensemble une puissance de 6 mètres.

L'espace triangulaire compris entre Lissitchansk, la rivière Kamenka et le village Louganskaïa renferme beaucoup de gîtes de houille (marqués 21 à 31), mais

l'exploitation y est encore insignifiante, et la position des couches n'y est pas encore bien déterminée.

Caucase. — Le gisement de houille de Tkwiboule se trouve à 30 kilomètres nord-est de la ville de Kutaïs, et affleure sur une grande étendue au pied des montagnes Nakerala, qui forment un demi-cercle de 8 kilomètres de diamètre et qui limitent la plaine du district d'Okribe. L'altitude de ces montagnes est d'environ 1200 mètres. Le versant sud du Nakerala est abrupt, celui du nord-est est en pente très douce. La crête de ces montagnes est formée de calcaire à *Caprotina ammonia ;* les couches inférieures, moins riches en fossiles, fournissent un calcaire de construction. La direction des couches est nord 36° ouest; leur inclinaison de 20° au nord-est. Sous le calcaire se trouve une série de roches psammitiques d'une puissance considérable et appartenant à l'étage oxfordien.

Encore plus bas, le long de la rivière Tchirdiliss-Oukali, on trouve un affleurement de grès contenant des couches de houille qui appartient au Jura brun, et reposant eux-mêmes sur les schistes du lias.

On peut distinguer dans le grès les trois étages suivants :

1° Grès friables à grains fins et un peu micacés.

2° Grès à gros grains, d'une couleur jaunâtre, se réduisant facilement en poudre et contenant un peu de mica.

3° Grès gris, avec de minces couches de charbon, de petits nids de jayet, des empreintes végétales et diverses espèces de troncs et de branches d'arbres fossiles. Ces grès, imprégnés d'oxyde de fer, forment le toit de la couche de charbon dont la direction dans la colline d'Ourguebi est nord 45° ouest et l'inclinaison de 35° au nord-est. La puissance de la couche est de 30 mètres environ; mais en réalité elle se divise en plusieurs couches qui diffèrent par la nature du charbon et qui sont séparées les unes des autres par des intercalations de schiste argileux ou bitumineux.

Dans la colline, des deux côtés de la rivière Tchirdiliss-Oukali, on voit affleurer les couches suivantes en commençant par le toit :

Grès granuleux avec des intercalations de conglomérats, de grès argileux, et avec des traces de charbon, 2 mètres.

Grès à grains fins avec des empreintes végétales et des bois fossiles, 1 mètre.

Charbon feuilleté, en partie brillant, en partie mat, un peu décomposé par les agents atmosphériques, 1 mètre.

Charbon ressemblant à du jayet, $0^{m},50$.

Magnifique charbon brillant et clivable, $3^{m},40$.

Charbon feuilleté, $0^{m},50$.

Charbon brillant d'une constitution très uniforme, 3 mètres.

Charbon très bitumineux, avec quelques petites couches intercalées de schistes bitumineux, $1^{m},30$.

Charbon brillant de très bonne qualité tombant facilement en morceaux; au milieu de cette couche se trouvent quelques petites couches de charbon de qualité inférieure, 5 mètres.

Charbon bitumineux, $0^{m},20$.

Charbon se délitant facilement et contenant beaucoup de pyrite et de petites couches de jayet, 3 mètres.

Charbon brillant et schisteux et ressemblant à du jayet, $0^m,80$.

Couche analogue à la précédente, mais contenant trois petites couches de schistes bitumineux de $0^m,05$ d'épaisseur, $0^m,80$.

Argile schisteuse, $0^m,20$.

Assez bon charbon brillant à cassure conchoïdale, et contenant quelques lentilles d'argile schisteuse de $0^m,10$ d'épaisseur, $1^m,50$.

Schistes bitumineux avec de petits filets de jayet, 1 mètre.

Schistes bitumineux passant au grès, $1^m,20$.

Charbon de mauvaise qualité et très argileux, $2^m,50$.

Argile schisteuse, $0^m,40$.

Grès à grains fins formant le mur de la couche.

Le charbon de Tkwiboulc peut être regardé comme assez riche en matières volatiles. Il brûle, en général, très facilement, se gonfle et se transforme en coke; ce n'est que dans quelques lits qu'il est anthraciteux et qu'il exige pour brûler un courant d'air plus considérable. Ce charbon est principalement formé par des restes de plantes; on y trouve des cycadées, des fougères, etc. L'accumulation de troncs d'arbres et de branches entrelacées forme les couches du meilleur charbon.

Les affleurements qu'on connaît dans la vallée de Tchirdaliss démontrent que la couche de houille se prolonge au sud-est de l'arc longitudinal de la colline Ourguebi. Le ligne de soulèvement est ici dirigée nord 45° ouest et le prolongement des couches incline de 38° vers le nord. Les explorations ont mis au jour du charbon sur 8 mètres de hauteur, et l'on y trouve les mêmes couches et dans le même ordre que dans l'affleurement décrit plus haut.

A 2 kilomètres au nord-ouest de l'arc longitudinal de la colline d'Ourguebi, dans le défilé de Tihnari, la même couche affleure dans les mêmes conditions. Le charbon est très dur et présente une couche de 22 mètres d'épaisseur. Les roches du mur et du toit, et la couche de charbon qu'elles renferment, forment une sinuosité dont la direction est nord 75° est, et l'inclinaison de 40° au nord-ouest. Plus loin, la même couche se montre dans la colline de Kedour ou Samtchrali. De nombreux travaux ont mis à jour, en maintes places, la structure de la partie supérieure de la colline; ces travaux sont menés dans une couche de charbon tout à fait identique à celle d'Ourguebi. Dans la colline de Kedour, les affleurements de la couche s'étendent sur le tiers de la longueur de la montagne, qui est de 920 mètres.

POLOGNE

Les limites du terrain carbonifère de Pologne ne sont pas encore nettement déterminées. On sait cependant qu'au nord du point où l'étage productif est le plus développé, c'est-à-dire près de la petite ville de Sievierz, on voit affleurer des calcaires dévoniens.

Vers l'est, dans les environs du village de Stremieszycé, le terrain houiller est recouvert par le trias.

Les couches carbonifères de la partie sud-ouest de Pologne ne sont que le prolongement immédiat de celles de la Haute-Silésie. Elles s'étendent depuis Zabrze

par Kœnigshütte Laurahütte, Kattowitz et Myslowitz, où elles pénètrent en Pologne, se rencontrent à Milowieé, Sielcé, Niwka, Czeladz, se dirigent vers l'est à Zagorzé, Dombrowa et aux environs, et se retrouvent encore près des villages de Niemcé et de Slawkov à une grande profondeur.

A Zabrze, le terrain houiller a 150 mètres de puissance et contient quatre couches de houille. En allant vers l'est, le nombre des couches diminue : ainsi à Kœnigshütte il y en a trois; près de Rozdzin (encore en Silésie), il n'y en a plus que deux; et enfin, aux environs de Dombrowa, on ne trouve plus qu'une seule couche dont la puissance atteint jusqu'à 18 mètres.

Outre cette couche principale de houille, on rencontre en différents points de Pologne, au milieu de la formation carbonifère, plusieurs couches de houille.

Quant à la disposition du terrain houiller en Pologne, elle présente, d'après les recherches des professeurs Rœmer et Barbotte de Marny, des selles et des fonds de bateau elliptiques, dont l'axe, dirigé de nord-ouest à sud-est, a 19 kilomètres et dont la largeur totale est de 9 kilomètres.

Le fond de bateau principal peut être nommé fond de bateau de Dombrowa. On remarque ici, comme dans plusieurs autres régions analogues, que les couches les plus inclinées se trouvent des deux côtés du fond de bateau, près des extrémités du petit axe, et que l'inclinaison diminue de plus en plus vers les extrémités du grand axe.

La partie centrale du fond de bateau de Dombrowa est occupée par du muschelkak, et Dombrowa est elle-même bâtie au nord-est de ce fond de bateau.

La houille, avons-nous dit, forme à Dombrowa une couche puissante. De l'autre côté du muschelkak, elle reparaît près du village de Dandowka, mais son inclinaison est contraire à la précédente, et elle forme plusieurs couches dont la puissance totale est égale à celle de la couche de Dombrowa.

Plus loin vers le sud-ouest, les couches forment un second fond de bateau (couche Édouard), et enfin, encore un peu plus loin, elles se partagent en couches plus nombreuses et plus minces qui inclinent de nouveau vers le sud-ouest.

La couche de Dombrowa varie en épaisseur de 10 à 20 mètres. Cette couche, étant interrompue en quelques endroits par des failles de directions diverses, forme des parties séparées qui sont exploitées comme des mines distinctes, et qui portent les noms de mines de Ksavery, Labendzky, Cieszkosky et Reden.

Il y a peu de lits stériles intercalés dans la masse du combustible dans la région centrale et occidentale. Ainsi, dans la mine de Ksavery, un lit argileux sépare toute la masse de la houille en deux parties presque égales; au contraire, dans la partie orientale, par exemple à la mine Felix, des intercalations nombreuses partagent la couche de Reden en plusieurs couches de puissances très variées.

Le gisement de Dombrowa produit, en général, de la houille maigre, à longue flamme, incapable de donner du coke dur et de bonne qualité. D'ailleurs, dans la même couche on peut quelquefois distinguer jusqu'à 15 espèces de combustibles complètement différents. Au milieu de la couche du charbon maigre, on rencontre quelques bandes de charbon demi-gras, propre à donner du bon coke.

Le professeur Barbotte de Marny parle en ces termes du gisement de Dombrowa.

L'énorme puissance de la couche de Dombrowa permet de dire qu'elle est l'une des plus remarquables du monde. La régularité des parties séparées de cette

couche, leur affleurement au jour, l'inclinaison modérée de quelques-unes d'entre elles, l'absence de gaz explosible, etc., placent l'exploitation de la houille de Dombrowa dans les conditions les plus favorables. Grâce à sa grande richesse, le gisement de Dombrowa a une énorme importance non seulement pour la Pologne, mais pour toute la Russie.

« Il suffit de dire que ce gisement est capable, à lui tout seul, d'approvisionner de combustible les chemins de fer de la Pologne et de l'ouest de la Russie, et que ce combustible peut alimenter une industrie développée à un degré élevé.

La houille exploitée en Pologne est consommée totalement dans le pays; elle est employée dans les différentes fabriques, pour le chauffage domestique et l'alimentation des chemins de fer. Bien que la production des mines de Pologne augmente chaque année, ce pays reçoit encore une quantité considérable de houille de la haute Silésie.

Le bassin de la haute Silésie, qui se prolonge en dehors de la Prusse en Pologne et en Autriche, occupe une grande étendue de terrain. Les couches du terrain carbonifère apparaissent quelquefois à la surface en formant des îlots séparés; d'autres fois elles sont recouvertes par des formations postérieures. D'après les recherches géologiques faites en Pologne aussi bien qu'en Silésie, le terrain houiller se compose, sur toute son étendue, de deux étages : l'étage inférieur (Culm), qui ne contient pas de combustible minéral, du moins en couches exploitables; l'autre, plus récent, est riche en couches de houille et forme, à proprement parler, l'étage productif du terrain houiller. Cet étage peut être divisé lui-même en deux parties : une zone supérieure avec des couches puissantes de houille et une zone inférieure avec des couches plus minces.

TURQUIE

Le terrain houiller a été reconnu le long des côtes de la mer de Marmara et de la mer Noire et s'étend jusqu'à l'Archipel. D'après M. Cailliaux, les houilles de ces gisements sont généralement composées de la manière suivante :

	Mer Noire	Marmara	Roumélie
Castone	62,40	40,50	47,00
Matières volatiles	31,80	52,00	48,00
Cendres	5,80	7,50	5,00
	100,00	100,00	100,00

ESPAGNE

Les contrées méditerranéennes, en général dépourvues de houille proprement dite, ne renferment çà et là que quelques dépôts de lignite de peu d'importance; seule l'Espagne fait exception et présente dans la province des Asturies de nombre

couches de houille assises sur le calcaire carbonifère; à Belmez et à Villa Nueva, près de Cordoue, on en trouve également dont l'importance, faute d'explorations suffisantes, n'a pu encore être déterminée d'une manière certaine. Malheureusement les moyens de communication font défaut.

Il y a quelques années, des travaux suivis ont été entrepris à Belmez, pour le compte d'une compagnie française, par un ingénieur distingué, M. de Reydellet, naguère directeur des mines de Blanzy (Saône-et-Loire).

M. de Reydellet[1] a signalé la découverte à Puertullano, dans la province de Ciudad-Real, en Espagne, d'un bassin houiller déposé en couches très peu inclinées dans une dépression du terrain silurien. Les végétaux de ce terrain, étudiés par MM. Zeiller et Grand'Eury, sont les *Walchia piniformis*, *Calamites Suckowi*, *C. Cisti*, *Pecopteris dentata*, *P. pteroïdes*, *P. arborescens*, *Goniopteris elegans*, *Sphenophyllum fimbriatum*, *Asterophyllites grandis*. Cette flore indique le terrain houiller tout à fait supérieur.

BASSINS HOUILLERS D'ASIE

ASIE MINEURE

Dans l'Asie occidentale, le petit bassin houiller d'Eregli, situé sur la côte méridionale de la mer Noire, a été l'objet d'une exploitation assez active pendant la guerre de Crimée; mais il paraît que les travaux sont si mal aménagés et conduits d'une façon si rudimentaire, que la production ne peut même pas suffire à la consommation, pourtant si restreinte, de Constantinople et des autres villes situées sur les bords de l'Euxin.

INDE

Les principaux dépôts de charbon de l'Inde paraissent s'étendre de Calcutta, suivant une ligne à peu près parallèle à la côte de la baie du Bengale et distante de 100 à 150 milles de cette côte, jusqu'au 78e degré environ de longitude est. Au nord, ils sont bornés par les plaines du Gange; au sud, ils s'étendent par places jusqu'au delà du Godoxera.

L'âge géologique de ces charbons, longtemps mis en discussion, est reconnu aujourd'hui être le même que celui du charbon australien.

1. *Bulletin de la Société géologique* (3e série), t. II, p. 160.

SIBÉRIE

M. Schmalhausen a constaté[1] l'existence de la formation carbonifère inférieure dans la Sibérie orientale. En effet, dans des cailloux roulés recueillis par M. Lopatin sur la rivière Ogux, affluent de l'Iénisséi, l'auteur a trouvé les plantes fossiles suivantes : *Bornia radiata*, *Lepidodendron Weltheimianum*, *Stigmaria ficoïdes*.

CHINE

M. Gay-Lussac, lieutenant de vaisseau, a publié en 1874, dans la *Revue maritime et coloniale*, des renseignements précis sur les gisements de houille en Orient.

Les gisements du Céleste Empire couvrent, dit-il, une surface de 400 000 milles carrés (environ trente fois la surface qu'occupent les houillères de l'Angleterre). Le gisement de la grande province de Hu-Nan possède deux couches distinctes de houille : l'une de houille bitumineuse, l'autre d'anthracite. Cette dernière est favorablement située pour le transport par eau. Elle couvre une surface égale à celle des anthracites de Pensylvanie, et donne de l'anthracite de la meilleure qualité.

La province de Shank possède un gisement de 50 milles carrés et pourrait alimenter le monde entier pendant des milliers d'années, même en tenant compte de l'augmentation rapide de la consommation. L'épaisseur des couches varie de 4 à 7 mètres; la profondeur du gisement est d'environ 170 mètres, et les terrains offrent de grandes facilités pour le creusement des mines.

Mais les Chinois ne savent pas tirer parti de ces richesses. Leurs puits ne sont pas verticaux, mais bien inclinés à 45°, sur une longueur de 150 à 170 mètres. Les hommes portent le minerai dans des mannes pendues aux deux extrémités d'une perche placée sur leur épaule gauche. Les galeries ont environ 2 mètres de haut et autant de large, elles sont soutenues par des planches qui maintiennent des étais de chaque côté. Le passage est couvert en planches formant des degrés que le mineur franchit les uns après les autres, en s'aidant d'un bâton courbé qu'il porte dans sa main droite.

Il y a bien longtemps que les Chinois connaissent la valeur des larges gisements de combustible fossile qu'ils possèdent.

C'est ainsi que Marco-Polo, parcourant le nord de la Chine, écrivait déjà, dans ses relations de voyage de 1270 à 1290 : « Dans toute la province de Cathay, on extrait de la montagne certaines pierres qui, mises au feu, brûlent comme du bois, et qui, une fois allumées, restent longtemps en combustion. Lorsqu'on les met au feu dans la soirée, elles brûlent toute la nuit; ce qui fait que beaucoup de gens préfèrent employer ces pierres, bien que le bois soit très abondant; d'ailleurs

1. *Verhandlungen der k.k. geologische Reichanstalt*, 23 janvier 1877.

elles conviennent mieux que celui-ci pour le chauffage des étuves et des bains, dont on fait un fréquent usage. »

Vers le cours supérieur du fleuve Yong-Tse-Kiang, plusieurs couches se décèlent par de larges affleurements et sont exploitées sur une petite échelle, au moyen de galeries percées à travers la montagne.

Dans la province de King-hua, à l'ouest-sud-ouest de Ning-po il existe certains puits creusés à travers des couches d'un charbon brillant non bitumineux, dont la description a été donnée par M. R. Cobbald. Les exploitations sont à une profondeur qui varie de 90 à 150 mètres. On est arrivé à la houille par une succession de puits de 12 à 15 mètres, constituant des étages auxquels on élève successivement le combustible au moyen de treuils.

Malgré la facilité des transports par eau qu'on rencontre dans une grande partie de la Chine, il est évident qu'il faudrait introduire de grands perfectionnements dans l'exploitation des mines de ce pays, avant que les richesses houillères qu'il renferme puissent servir à l'industrie et subvenir aux besoins de la navigation à vapeur des mers orientales.

Le *North China Herald* raconte que, dans le district de Pékin, on extrait le charbon par des puits ouverts au milieu d'une chaîne de collines peu élevées. La forme de ces puits est une hélice dont le pas fait un angle d'environ 5° avec l'horizon, et le combustible est remonté lentement au jour par des enfants, qui le chargent dans de petits traîneaux, auxquels ils s'attellent en se passant des courroies sur les épaules et entre les jambes. La houille est exploitée par des galeries dont le toit est soutenu par des piliers de bois, et qui sont ventilées plus ou moins bien au moyen de portes placées de distance en distance. Les explosions ne sont pas rares, et les inondations non plus ; mais dans ce dernier cas l'exploitation est abandonnée, et comme on ne connaît pas les galeries de niveau, on se transporte plus loin pour creuser un autre puits. Le district de Pékin est, du reste, le seul où les travaux aient quelques développements ; partout ailleurs on se contente d'effleurer les couches, et dans la plupart des cas cette simple opération ne donne que du combustible de qualité inférieure.

JAPON

Le docteur J. Margowan, qui a parcouru le Japon, fait le récit suivant :

« J'ai visité, dit-il, plusieurs houillères du Japon, et je crois que, si les produits n'ont pas les qualités désirables, cela tient moins à leur nature qu'à l'ignorance complète des habitants dans l'art d'exploiter. Les Japonais ont bien, à une certaine époque, demandé à la Hollande quelques machines ; mais, soit qu'elles fussent défectueuses, soit que personne n'ait su les conduire, toujours est-il qu'elles n'ont apporté aucun changement favorable dans l'état des travaux. A Dseina (Tihou-Tao), île située au sud-ouest de Nagasaki, j'en ai trouvé plusieurs dans un état complet de rouille, et j'ai vu les mineurs travailler dans des circonstances assez désavantageuses pour faire douter de la véracité des récits qui ont représenté la condition des travailleurs de cette contrée sous des couleurs favorables. Sur la côte de Fuzen, j'ai vu des enfants tout à fait nus et des femmes presque complètement dépourvues

de tout vêtement, et cela par un froid assez vif, remonter la colline pour ainsi dire à quatre pattes, en s'attelant à de petits chariots remplis de houille. En présence d'un pareil spectacle, il est permis de faire des vœux pour que les machines viennent affranchir ces malheureux d'un travail aussi sauvage. »

BASSINS HOUILLERS D'AFRIQUE

ZAMBÉZIE

Dans le milieu du mois de février 1879, on annonçait qu'une mine de houille avait été découverte dans l'Afrique centrale, sur les bords du lac Nyanza.

Un voyageur anglais, M. Rhodes, qui accompagnait le capitaine Elson, avait gagné l'extrémité septentrionale du lac Ryenzé, et s'était avancé sur la rive occidentale. En remontant un ravin, à 1 mille du lac et à 10 milles au sud de Florence-Bay, il parvint à 50 mètres au-dessus du lac, et aperçut de petits morceaux de charbon mêlés au gravier d'un ravin. Il découvrit ensuite trois veines de houille. L'une a une épaisseur de plus de 2 mètres, et les autres ont de 30 centimètres à 1 mètre. Les indigènes savaient que ce charbon était de l'espèce de celui que l'on brûle à bord des navires.

En remontant le fleuve Zambèze, et laissant sur sa gauche la Luyena, on aperçoit l'île de Machiroumba. Pour aborder cette île, on se rapproche de la rive gauche du fleuve, et l'on entre dans un canal de 150 mètres de largeur. Vers le milieu de sa longueur, on voit une échancrure, d'environ 40 mètres de hauteur; elle est coupée à pic dans le grès houiller et il en sort une rivière qui se jette dans le grand fleuve.

Cette rivière, c'est le Muaraze, exploré en 1881 par M. P. Guyot.

Près de son confluent avec le fleuve, les deux berges du Muaraze sont formées d'une muraille de grès de couleur grise, qui va en s'affaiblissant jusqu'à disparaître dans le sol.

Lorsque cette muraille est dépassée, on entre complètement dans le terrain houiller, caractérisé par des bancs successifs de grès et de schiste noirâtre. Le fond de la rivière est sableux et rempli de rognons de carbonate de fer.

On peut dire que le Muaraze coule en grande partie sur le terrain houiller. Toutefois le charbon qui en a été extrait ne paraît pas exploitable, à moins qu'à la suite de sondages, on ne constate un changement dans la nature des terrains. Cette houille, en général, se présente en filets d'une très faible épaisseur, coupés par des schistes charbonneux.

Il ne faut pas oublier que Livingstone a le premier signalé l'existence, dans le bassin du Zambèze, d'une formation houillère importante. MM. Kuss et Lapierre ont récemment retrouvé sur le Morongozé, affluent du Rovugo, une galerie de mine ouverte autrefois par l'illustre voyageur.

Le bassin houiller de Tête a été décrit en détail[1]. On peut voir sur la figure 91, que nous empruntons à M. Kuss[2], que ce bassin s'allonge le long du Zambèze et prend son plus grand développement dans l'angle compris entre le Zambèze et son affluent le Rovugo. L'auteur en a reconnu et en indique à peu près exactement les limites au nord-est et à l'est ; la limite sud-ouest n'a été relevée par lui que sur deux points, à l'ouest et au sud de Tête ; on n'a pu reconnaître non plus l'étendue exacte de la langue de terrain houiller qui suit le Zambèze en le remontant en

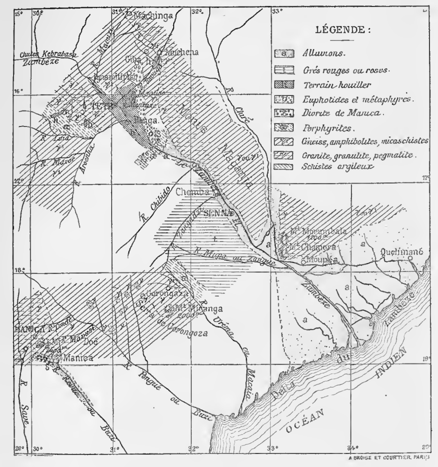


Fig. 91. — Carte du bassin houiller du Zambèze, d'après M. H. Kuss. — Échelle de 1 à 6 000 000.

amont de Tête ; peut-être s'approche-t-elle des chutes Kebrabasa un peu plus que ne l'indique la carte. Tandis que sur la rive gauche du Zambèze le terrain houiller ne forme que des collines d'une faible hauteur, il s'élève au contraire sur la rive

1. Lapierre, *Annales des Mines*, 6e livraison de 1883.
2. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. XII, p. 309. Février 1884.

droite au nord-ouest de Tête jusqu'à 300 mètres environ au-dessus du fleuve (serra Carroeira). De ce côté, il paraît buter contre les terrains anciens et en être séparé par une faille ; il plonge en effet doucement vers le nord-ouest, sans se relever au voisinage des gneiss et sans s'appuyer sur eux. Vers le centre du bassin principal, un petit massif de micaschiste émerge du terrain houiller sur la rive gauche du Rovugo, en face de Chingosa. L'existence de ce massif qui doit se relier souterrainement aux gneiss et aux micaschites de la rive droite du Rovugo, l'allure des couches et celle des roches qui entourent le terrain houiller, permettent difficilement de lui attribuer une grande puissance sur la rive gauche du Zambèze. Sur la rive droite, au contraire, il s'élève à une hauteur assez grande et est formé de couches régulières.

Indépendamment du bassin principal, on retrouve encore sur deux points, entre Tête et la Luia, des lambeaux isolés de grès houillers recouvrant les gneiss et les pegmatites; on voit aussi au nord, près de Muchena, affleurer sur les berges du Rovugo des bancs de grès argileux rouges qu'à raison de leur peu d'importance on peut réunir simplement au terrain houiller, mais qui sont peut-être plus récents.

Ce sont les grès qui dominent dans le bassin houiller de Tête; les schistes bien caractérisés sont fort rares; on n'en a trouvé qu'au voisinage immédiat des couches de houille sur le Moatise; plusieurs des couches reconnues ont même des grès pour toit et pour mur.

Le charbon fourni par ces couches est noir et brillant; il brûle aisément avec une flamme moyenne, en donnant un coke léger peu fondu. De nombreux essais ont donné :

Carbone fixe.	53 à 60
Cendres	17 à 22
Matières volatiles.	22 à 23

composition qui fait rentrer le charbon de Moatise dans la catégorie des houilles grasses ordinaires. Malgré la forte proportion de cendres, le bassin de Tête peut être considéré comme renfermant une réserve importante à laquelle la navigation de l'océan Indien sera peut-être quelque jour heureuse de recourir.

BASSINS HOUILLERS D'AMÉRIQUE

ÉTATS-UNIS

A première vue, les houillères de l'Amérique sont à celles de l'Europe dans le rapport de 21 à 1. Mais une telle comparaison repose sur une base erronée; en effet, les bassins houillers de l'Amérique, qui sont souvent divisés par des parties stériles de grande étendue, sont ordinairement limités à l'étendue des assises inférieure et supérieure entre lesquelles ils sont compris, tandis que plusieurs des plus remarquables de l'Europe s'étendent sous les formations plus récentes.

Au sud du Saint-Laurent et de la grande série des lacs, s'étend sur une portion considérable de la superficie le terrain houiller de l'Amérique du Nord.

Le terrain houiller se montre dans une grande épaisseur, ainsi qu'il résulte des explorations de M. le professeur Dawson et de M. Brown, dans le New-Brunswick et la Nouvelle-Écosse. Le nombre des couches est relativement peu considérable, mais il est intéressant de constater que les plantes fossiles qu'elles renferment, ou qu'on trouve dans leur voisinage, appartiennent aux mêmes genres et souvent aux mêmes espèces que celles des houilles de l'Europe.

Dans le bassin de Cumberland, situé dans une région qui s'élève vers les monts Cobequide, la formation houillère accuse, le long des bords de la baie de Fundy, à Jogguis, une épaisseur extraordinaire dépassant, d'après W. Logan, 4200 mètres. Bien qu'il y ait là 70 couches de houille, il en est fort peu qui, par leurs dimensions, soient reconnues exploitables. Près d'Amherst, M. Dawson a reconnu, à la formation, une hauteur de 840 mètres avec 7 couches de $0^m,45$ à $0^m,90$, représentant une épaisseur totale de $4^m,80$ de combustible.

Comme contraste remarquable, à Pictou, dans un district limité où la formation houillère est beaucoup moins développée, on peut voir 5 ou 6 couches de houille excellente, dont la principale (*the Pictou main coal*) n'a pas moins de $11^m,25$ d'épaisseur et est divisée par quelques lits de schiste et de minerai de fer.

Au nord et au centre du cap Breton, dans un district dont la ville de Sidney est le centre, existe un autre bassin de grande valeur qui n'est, suivant M. Brown, que la partie extrême d'une vaste région houillère s'étendant sous la mer, vers Terreneuve. Ce géologue estime que le terrain houiller de cette région occupe une surface de 647 kilomètres carrés et possède une épaisseur de 3000 mètres. Une coupe naturelle de ce terrain d'une hauteur de 558 mètres, est visible au nord-ouest du port de Sidney; elle contient 34 couches de houille, dont 4 seulement sont exploitables et ont de $1^m,20$ à $2^m,025$. Dans d'excellents mémoires insérés dans le *Quarterly Journal* de la Société géologique de Londres, les auteurs que nous avons cités plus haut donnent les renseignements les plus précieux sur les plantes et les animaux fossiles de la houille de cette province, dont la production pendant l'année finissant au 30 septembre 1865 a été de 661 025 tonnes.

Les bassins des États-Unis sont considérables; leur caractère, leur position, tout enfin concourt à les faire considérer, en quelque sorte, comme les restes d'une immense étendue de terrain houiller qui, dans l'origine, se serait développée, d'une part, depuis le Saint-Laurent jusqu'à l'embouchure du Mississipi, et d'autre part, des bords de l'Atlantique au Kansas et aux frontières de Mexico. En effet, bien qu'il y ait entre ces bassins des solutions de continuité de plusieurs kilomètres, on retrouve néanmoins dans les intervalles stériles les mêmes roches qui forment la base du terrain houiller; en outre, on constate que les régions où le combustible est resté intact, sont précisément celles des points déprimés de la grande ligne d'ondulations qui accuse les mouvements de perturbation auxquels la masse entière de la formation carbonifère a été soumise dans toute son étendue primitive. Très profondes à l'est, le long de la chaîne des Alleghanys, ces ondulations deviennent de moins en moins prononcées à mesure qu'on s'avance vers l'ouest, si bien que, dans les vastes régions de l'Ohio et du Missouri, les couches ont une inclinaison très faible et s'étendent sans solution de continuité à des distances relativement

très grandes. Une chose curieuse à noter et qui se relie aux phénomènes géologiques précédents, c'est que la nature de la houille change avec sa situation ; ainsi, elle se montre bitumineuse et collante dans les larges régions non accidentées, tandis qu'elle devient de plus en plus compacte et sèche à mesure que le terrain se ressent du voisinage des monts Alleghanys jusqu'à ce qu'elle passe tout à fait à l'état d'anthracite pur, comme on la trouve en Pensylvanie.

Dans sa *Géologie de la Pensylvanie*, le professeur Rogers discute un autre point qui n'a pas moins d'importance, bien que d'un intérêt plus général. Les conglomérats (*millstone-grit*), fait-il remarquer, et les grès, qui présentent à l'est une grande épaisseur et sont d'une pâte très grossière, s'amincissent graduellement en même temps que leur pâte devient plus fine à mesure qu'on s'avance vers l'ouest; au contraire, le calcaire associé à la formation houillère, qui se montre très rare en Pensylvanie, prend une importance de plus en plus grande dès qu'on pénètre dans les districts de l'ouest, si bien que certains bancs qui n'ont que 3 mètres d'épaisseur dans le bassin du Potomac, en accusent jusqu'à 60 à Wheeling. D'un autre côté, comme la grossièreté de la pâte des grès et des conglomérats indique le voisinage des terrains d'où ils proviennent, et que le calcaire renferme en abondance des organismes d'origine marine, l'auteur en conclut que pendant la période houillère, la région-ouest a dû être occupée par les mers profondes, tandis que les terrains qui ont donné naissance aux conglomérats devaient se trouver là même où l'océan Atlantique roule aujourd'hui ses vagues.

Les bassins houillers des États-Unis, qui représentent, suivant M. Rogers, une superficie de 509 448 kilomètres carrés, sont compris dans cinq régions.

Alleghanys. — La région des Alleghanys comprend une série de districts productifs en Pensylvanie, dans l'Ohio, le Maryland, la Virginie, le Kentucky et le Tennessee, se développant dans une direction nord-est et sud-est, suivant une ligne continue de 1400 kilomètres.

Le gisement de houille bitumineuse situé dans la région occidentale de la Pensylvanie présente de 7 à 10 couches exploitables, au milieu d'une formation qui n'a pas moins de 630 mètres d'épaisseur. Le même nombre de couches se retrouve dans le nord-ouest de la Virginie, tandis que le gisement ouest du Missouri et de l'Iowa n'en offre tout au plus que 7, alors que la formation n'a plus que 210 mètres.

La série supérieure des couches, dont quelques affleurements apparaissent au nord et au nord-ouest de Pittsburg, repose sur une couche remarquable, qui porte le nom de cette ville. Le professeur Rogers l'a décrite avec le plus grand soin dans toute son étendue extraordinaire, et a fait voir l'incompatibilité de toute théorie de transport avec la persistance de son allure. D'une épaisseur de $2^m,40$ à Pittsburg, épaisseur qui s'élève à $3^m,60$ ou $4^m,20$ dans la région du sud-est, et qui tombe à $1^m,50$ vers Great-Kenawha, et même à $0^m,90$ à Guyandotte, elle présente une superficie d'environ 36 232 kilomètres carrés, mais en comprenant quelques parties détachées qui indiquent qu'à l'origine la couche de charbon de Pittsburg s'étendait à l'est, on peut estimer qu'avant les phénomènes de dénudation qui se sont produits, sa superficie totale était au moins une fois et demie plus considérable.

Un autre trait particulier à noter, relativement à la série supérieure des couches

en question, c'est l'interposition de bancs de calcaire remplis de fossiles d'origine marine, et représentant ensemble une épaisseur de 45 mètres. L'un de ces bancs, qui recouvre la couche de Pittsburg, et qui n'a que 0m,60 dans la région du Cumberland, s'élargit au point d'atteindre 12m,50 à Brownsville, et même 16 mètres à Wheeling.

L'épaisseur totale du charbon des couches du bassin des Alleghanys est généralement inférieure à celle des couches de la région anthraciteuse. Au point le plus plus profond de ce bassin ; là même où les couches sont au nombre de 15 ou 16, cette épaisseur atteint à peine 12 mètres ; d'où cette conclusion tirée par le professeur Roger, qu'en raison des nombreuses dénudations qui existent, l'épaisseur moyenne peut être estimée à un peu plus de 7m,50.

On peut dire réellement que le commerce du charbon en Pensylvanie date du jour où, en 1821, l'on a fait le premier chargement par navire ; les chiffres ci-dessous, extraits des rapports du *Board of Trade*, montrent la progression suivie.

1820	570	tonnes
1830	176 989	—
1840	854 207	—
1850	3 225 200	—
1860	8 273 842	—

En 1864, la production s'est élevée à 10 185 777 tonnes.

Il est d'usage en Amérique de désigner une couche d'après l'épaisseur du charbon qu'elle renferme, mesuré *grosso modo*, dans une galerie de recoupe ; il en résulte que, comme les couches sont toujours plus ou moins inclinées, l'épaisseur qu'on qu'on trouve est généralement supérieure à l'épaisseur véritable. M. Rogers en donne pour exemple que la couche dite 39 *feet vein* (couche de 11m,70) n'a que 7m,80, et même que 4m,50, suivant le mode d'estimation usité en Europe, et encore n'y trouve-t-on que 2m,40 de charbon de quantité vendable.

Illinois et Indiana. — Ce bassin de forme quelque peu ovale est placé entre les roches des formations dévonienne et silurienne à l'est, et le calcaire carbonifère du Haut-Mississipi à l'ouest ; sa superficie totale est d'environ 131 988 kilomètres carrés. Dans ce vaste district, presque aussi étendu que celui des Alleghanys, le terrain accuse çà et là certaines perturbations et ondulations ayant eu pour effet de morceler les parties riches du bassin dans des limites qui n'ont pas encore été complètement déterminées. Dans le district ouest du Kentucky, l'épaisseur de la formation houillère est estimée à 1028m,70, comprenant :

1° L'étage inférieur, de 308m,70, qui renferme neuf couches de houille exploitable, recouvertes par un banc de grès dur désigné sous le nom d'*Anvil Rock;*

2° L'étage supérieur, de 720 mètres, qui contient huit couches et de nombreux bancs de calcaire.

En somme, on a reconnu à peu près 12 à 15 mètres de charbon, mais comme tous ceux qui ont exploré cette région s'accordent à constater qu'elle a été très tourmentée par des ondulations courant au nord-ouest et au sud-est, c'est-à-dire

dans des directions opposées à celles de la chaîne des Alleghanys, on peut dire qu'aucune estimation satisfaisante n'a encore été faite.

M. Cox[1] a signalé, dans le terrain houiller de l'Indiana, la présence de nombreux fossiles marins intercalés entre les couches de houille : les principaux sont les *Spirifer cameratus*, *Productus semireticulatus*, *Athyris subtilita*, *Chonetes mesoloba*, *Bellerophon carbonarius*. Les végétaux de la houille appartiennent aux espèces suivantes : *Sigillaria reniformis*, *Pecopteris arborescens*, *Sphenophyllum Schlotheimi*, *Nevropteris hirsuta*, *N. Loshi*.

Jowa, Missouri et Arkansas. — Dans cette vaste région où le terrain houiller occupe plus de 188 924 kilomètres carrés de superficie, nous ne pouvons que constater un amoindrissement de richesses; non-seulement les couches de houille, mais encore les bancs stériles qui les accompagnent sont moins nombreux et moins épais.

Le professeur Swallow, dans un rapport sur la géologie du Missouri, estime à 195 mètres la section totale de la formation houillère, mesurée sur les bords du fleuve, l'étage supérieur ne présentant que du charbon inexploitable avec de minces lits d'un calcaire poli (*buff limestone*), et l'étage inférieur renfermant entre Brownsville et l'embouchure de la Mine six couches, dont deux seulement sont exploitables, qui n'ont respectivement que $0^m,90$ et $1^m,80$.

Dans son étude sur l'Arkansas, le docteur Dale Owen mentionne plusieurs couches exploitées dans quelques comtés pour charbon de forge. En général, elles ont une très faible épaisseur, à l'exception de la couche Spadra qui n'a cependant que $0^m,90$, et la qualité de leur charbon semble être demi-anthraciteuse. On les rencontre au milieu des assises inférieures de la formation, c'est-à-dire avec le *millstone-grit* et et tout contre le calcaire dit *Archimedes limestone* (calcaire sub-carbonifère).

On trouve sur certains points éloignés quelques dépôts de houille proprement dite, mais, en somme, et telle qu'elle est connue jusqu'ici, la contenance du bassin de toute la région est si peu en rapport avec l'immense magnifique étendue qu'occupe le terrain houiller sur la carte géologique, qu'elle est pour ainsi dire sans valeur comparativement à celle des autres pays.

Texas. — Cette région de l'extrême sud-ouest, d'une étendue de 7764 kilomètres carrés, n'a dû être dans l'origne, si on la considère au point de vue géologique, qu'un prolongement de celle beaucoup plus importatante de l'Arkansas.

Michigan. — Entre le lac Huron et le lac Michigan existe un bassin houiller peu profond de 31 056 à 38 820 kilomètres carrés, dont les couches ont une faible inclinaison ou sont presque horizontales. La formation semble reposer sur le calcaire carbonifère et contient souvent des dépôts de gypse comme on en rencontre dans les possessions anglaises du nord de l'Amérique.

L'intérieur de ce bassin est encore imparfaitement connu et peu d'affleurements ont été jusqu'ici signalés. Néanmoins, on estime qu'il existe très peu de couches de charbon exploitables, lesquelles existent seulement dans l'étage inférieur de la for-

1. *Neues Jahrbericht*, 1875, p. 322.

mation, et l'on compare cette région à celle des bassins de l'Irlande, dont les parties les plus riches ont été enlevées par les grands phénomènes de dénudation produits par la nature.

Dans un pays où la population est aussi peu dense et où les forêts sont encore aussi abondantes, on ne doit pas s'étonner que le commerce de la houille soit en quelque sorte d'origine récente, et que le produit des mines arrivant sur les marchés soit aussi inférieur à celui des mines européennes, malgré l'étendue considérable qu'occupe le terrain houiller, puisque ce n'est qu'en 1820 que les mines de Pensylvanie ont fait leur premier envoi, s'élevant à 370 tonnes, pour arriver, il est vrai, en 1864, à dépasser le chiffre de 10 millions de tonnes.

Rhode-Island.	3 711	tonnes
Pensylvanie.	12 888 868	—
Maryland.	799 078	—
District de la Colombie.	753	—
Virginie occidentale.	404 797	—
Kentucky.	92 401	—
Missouri.	67 180	—
Ohio.	1 344 555	—
Indiana	148 989	—
Illinois.	939 172	—
Michigan.	16 540	—
Minnesota	50 957	—
Kansas.	239	—
Califormie.	45 612	—
Territoire de Washington.	7 870	—
Total.	16 810 722	—

Certains États, tels que la Géorgie, le Tennessee, l'Alabama, ne figurent pas ici, parce que leur production est tout à fait insignifiante.

En donnant les chiffres précédents, les rapports officiels ont le soin de prévenir qu'ils n'ont pas toute l'exactitude désirable en raison des renseignements souvent incomplets ou erronés que fournissent les compagnies de mines, en sorte qu'il est probable, en tenant compte surtout de la consommation locale, que, pour 1864, le chiffre réel de la production ne doit pas être inférieur à 18 millions de tonnes. Sans les droits fixés à l'entrée des houilles étrangères, il y a déjà longtemps que le développement des mines de Pensylvanie aurait été entravé. Ces droits qui varient de temps en temps, étaient en 1867 de 1 dollar 25 cents par tonne de 28 boisseaux, c'est-à-dire 6 fr. 65 par tonne de 1000 kilogrammes. La distance des exploitations aux principaux centres de population, le long des côtes, est de 128 à 192 kilomètres, et le prix du transport est à peu près égal à celui de la houille à sa sortie du puits.

Les richesses en combustible fossile du nord de l'Amérique ne se bornent pas aux bassins proprement dits dont nous venons de parler. C'est ainsi que dans l'est

de la Virginie existe une région d'environ 42 kilomètres de long sur 7 à 19 kilomètres de large qui renferme du charbon dans l'étage inférieur du groupe jurassique, avec des fossiles analogues à ceux qu'on trouve en Angleterre dans les couches Whitby du Yorkshire. La formation houillère offre un bassin irrégulier, reposant sur des roches granitiques; mais les couches, au nombre desquelles il en est une de houille bitumineuse qui atteint 9 et 12 mètres d'épaisseur, sont très tourmentées et présentent des rétrécissements partout où elles reposent immédiatement sur le terrain primitif.

On a vu précédemment que sur différents points du continent américain situés en regard de l'océan Pacifique, on a signalé la présence de gisements de lignites de bonne qualité, se présentant parfois en couches de $0^{m},90$ à 3 mètres d'épaisseur. Elles semblent appartenir à la formation crétacée, formation à laquelle le docteur Hector a rapporté les lignites de la rivière Saskatchewan et de l'île Vancouver.

Terreneuve. — D'après MM. Alex. Murray et J. Milne[1], le terrain carbonifère est représenté à Terre-Neuve par 2000 mètres environ de grès rouges, de schistes, de calcaire gris et de conglomérats, ressemblant tout à fait aux couches qui forment la base du carbonifère à la Nouvelle-Écosse. On y trouve des masses importantes de gypse, autour desquelles les roches encaissantes sont contournées et disloquées. Plusieurs couches de houille, dont une de 1 mètre d'épaisseur, y ont été observées.

CANADA

M. Dawson[2] a décrit les plantes fossiles du terrain carbonifère inférieur du Canada. Ce terrain comprend, au-dessous du système houiller proprement dit (coal-measures) :

1° Le groupe du Millstone-grit, formé de grès et de schistes, souvent colorés en rouge, et de conglomérats avec plantes, parmi lesquelles les troncs de *Dodoxylon acadianum* sont fréquents;

2° Le groupe de Windsor, ou calcaire carbonifère inférieur, avec *Productus Cora*, *P. semireticulatus*, *Athyris subtilita*, *Terebratula sufflata*. Cette formation contient des couches de gypse;

3° Le groupe de Harton-Bluff, formé de grès et de schistes, quelquefois très bitumineux et contenant de minces couches de houille.

Les fossiles caractéristiques sont : *Lepidodendron corrugatum*, *Cyclopteris acadia*, *Dodoxylon antiquus*. On y trouve par places de nombreux débris de poissons, des entomostracés, comme *Leaia Leidyi*, *Leperditia subrecta*, *Beyrichia colliculus*.

1. *Geological Magazine*, 1827, p. 261.
2. *Geological Survey of Canada*, Montréal, 1873.

BASSINS HOUILLERS D'OCÉANIE

MALOUINES.

On trouve, dit-on, de la vraie houille dans les îles Falkland (Malouines).

NOUVELLE-ZÉLANDE.

La Nouvelle-Zélande est riche en houille; des mines sont exploitées dans les provinces d'Auckland, Nelson, Canterbury et Olago.

Au mont Rochfort (Baker-Mines), la formation est sur un haut plateau; son épaisseur varie de 10 à 40 pieds et elle est supposée contenir 140 millions de tonnes de houille bitumineuse, de très bonne qualité et facile à exploiter.

L'exploitation de la houille en Nouvelle-Zélande, qui se développe rapidement, est déjà très sérieuse, puisque sur les 332 000 tonnes de charbon que la colonie a consommées en 1878, 158 000 lui ont été fournies par ses propres mines.

Les houilles de Westport, sur la côte occidentale de la Nouvelle-Zélande (île du Sud), sont des plus remarquables. Les couches de charbon de cette mine ont une épaisseur qui varie de $1^{m},80$ à 16 mètres; elles sont donc fort importantes. Ce qui constitue le trait distinctif de cette mine, c'est qu'elle peut être exploitée à une altitude de 250 à 900 mètres au-dessus du niveau de la mer. Quelques-unes des veines affleurent à la surface des falaises. Non seulement les mines sont à l'abri des inondations, mais probablement aussi de l'explosion du grisou.

AUSTRALIE.

A Sidney, en Australie, le terrain houiller présente un grand développement et exerce une influence considérable sur le rapide développement des colonies anglaises de cette région. Depuis l'époque (1845) où le comte de Strzelecki en a donné la description systématique, MM. Beete Jukes, Clarke, Selwyn et W. Keene ont fourni une série d'observations qui ne laissent aucun doute sur le caractère paléozoïque de l'étage inférieur de cette formation, dont les assises sont concordantes, bien que l'étage supérieur présente des anomalies rappelant bien mieux le terrain houiller de l'Inde qu'aucun autre de l'Europe.

La présence, au milieu de la houille, de plantes, telles que deux espèces de *Glossopteris*, de *Cyclopteris angustifolia* et de certains *Sphenopteris* et *Phyllo-*

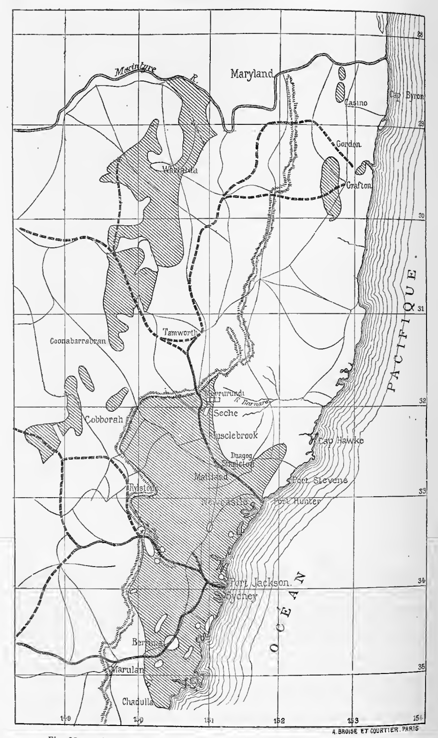


Fig. 92. — Carte des principaux bassins houillers de la Nouvelle-Galles du Sud.

theca permet d'établir un parallèle avec les fossiles appartenant à des formations plus récentes que la période carbonifère de l'Europe.

M. Keene, inspecteur du gouvernement, reconnaît, dans son rapport, l'existence de onze couches distinctes qui sont plus ou moins exploitées. Plusieurs ont une épaisseur de 1m,20 à 1m,80; mais la couche Walsend, entre Missouri et Newcastle, en a 2m,70, ainsi qu'une autre couche, située dans la mine Bare-hole, appartenant à la Compagnie agricole (*Agricultural Company's Bare-hole colliery*). La même compagnie possède une couche plus importante encore qui affleure près de Shroud et qui n'a pas moins de 9 mètres, divisée par des lits de schiste et d'argile réfractaire.

Sur les bords de la rivière de Hunter, à une distance de plus de 24 kilomètres au-dessus de Newcastle, on rencontre plusieurs exploitations importantes et même à 4 kilomètres plus au nord, quand on arrive à la crique de Rix, près de Singleton, on peut voir des travaux ouverts dans une excellente couche. Enfin, à environ 96 kilomètres au sud de Sydney, à Bellambi et à Wollougoug, on embarque des charbons provenant des affleurements de couches dont l'épaisseur semble régulière.

Les houillères de l'Australie produisent des charbons divers, suivant les puits dont ils proviennent, tels que charbons de forge, charbons domestiques, charbons à gaz; elles fournissent également à la marine à vapeur une qualité qui est très appréciée. En outre, il est certaines couches de schistes bitumineux et de houille dite *cannel-coal* qui ont récemment attiré l'attention au point de vue du parti qu'on en pourrait tirer pour l'exploitation des huiles minérales.

La Nouvelle-Galles du Sud fait un commerce considérable avec l'étranger, et envoie depuis longtemps des charbons en Chine, dans l'Inde et même dans les ports de Californie.

Dans la Nouvelle-Galles du Sud[1], le terrain houiller occupe une superficie de 23 950 milles carrés et s'étend principalement le long de la côte, au nord et au sud de Sydney (fig. 92). Les premières mines qui ont été exploitées se trouvent à côté de Newcastle, et forment encore le principal centre houiller de la colonie. Le second centre est à Rosenfeld, Eskbank et Lithgow, communiquant avec Sydney par le chemin de fer de Sydney à Bathurst. De Newcastle les transports se font par mer et le port est fort bien outillé pour le transport et le chargement de la houille.

Dans cette partie nord, le bassin houiller a une direction de thalweg sud-ouest nord-est et une longueur de 2 à 3 milles connue. Les couches atteignent 17 pieds d'épaisseur, avec une très faible inclinaison et peu de failles. Diverses compagnies se sont formées pour l'exploitation des mines de houille, soit à Newcastle, soit dans le bassin occidental, où le travail est également facile. A la fin de 1876, la production avait été de 20 640 000 tonnes, représentant une valeur de 11 millions sterling.

Pendant l'année 1878, il est sorti des puits 1 575 497 tonnes, représentant une valeur de 915 228; près de 5000 ouvriers ont été employés aux mines de houille. Le charbon est de très bonne qualité et dans la contrée on n'hésite pas à le placer sur le niveau de la meilleure houille du pays de Galles.

Les terrains houillers ont aussi une grande importance dans le Queensland, et par leur valeur d'exploitation, et par leur étendue. Les dépôts ont commencé

1. Journet, *l'Australie*, avec une carte géologique, 1885.

pendant la période paléozoïque et se sont continués avec peu ou même sans interruption jusqu'au milieu de la période mésozoïque. En effet, tandis que les premières contiennent comme fossiles végétaux le *Glossopteris* avec un petit nombre de variétés d'autres fougères, telles que le *Pecopteris*, les couches plus récentes ne contiennent plus la fougère caractéristique du terrain paléozoïque qui est remplacée par une abondance de *Pecopteris*, *Sphenopteris*, *Cyclopteris*, *Tœniopteris*, *Cycadœ* et *Equisetœ*. En même temps, la qualité de la houille se modifie, et de friable et bitumineuse devient, dans les couches supérieures, dure et beaucoup plus pauvre en carbone: elle n'en renferme plus qu'une proportion de 47 à 54 pour 100 au lieu de 67 et 77.

Les dépôts récents sont très importants dans le N.-E. du Queensland, où ils occupent la plus grande partie des districts de West-Mureton et Darling-Downs. Limités au nord-est par le terrain dévonien « d'Aguilar's Range », un peu à l'ouest de Brisbane, ils s'étendent sur plus de 150 milles vers l'ouest, on peut presque dire sans interruption, la crête de la chaîne de partage (Dividing Range) n'étant formée que par une éruption granitique dans la formation houillère.

La surface du terrain est caractérisée par un mélange de grès tendre et de houille compacte dont la décomposition a produit un bon sol.

Les parties supérieures de la formation paraissent résulter d'une accumulation de débris des terrains environnants à la suite d'inondations périodiques d'eau douce, les intervalles des périodes étant suffisants pour permettre la croissance de fougères dont les racines se retrouvent encore dans l'argile sous-jacente.

Les parties inférieures paraissent avoir subi des perturbations plus importantes, les couches sont beaucoup plus épaisses et résultent certainement d'une submersion ne ressemblant pas à des inondations annuelles, mais pourtant d'assez courte durée. Les courants d'eau paraissent avoir suivi une direction du nord au sud, car, tandis que le haut de la vallée de la Brisbane renferme de gros fragments de schistes du terrain dévonien du district Burnett, on ne trouve, en allant vers le sud et l'ouest, que de l'argile et du terrain friable.

La houille se présente en lits nombreux dont l'épaisseur varie depuis quelques pouces jusqu'à dix pieds d'épaisseur : mais les formations, même les plus épaisses, sont toujours constituées par une série de couches de six pouces d'épaisseur, de qualité variable et souvent séparées par de minces bandes d'argile ou de schiste, avec traces de fougères et principalement de *Pecopteris*.

Le charbon, qui ne présente pas lui-même de traces fossiles, est ordinairement dur et à cassures conchoïdales; il ne produit pas de bon coke et donne à la distillation des hydrocarbures fluides, plus légers que l'eau. Les couches inférieures sont plus épaisses et moins nombreuses, la houille est friable, brûle bien et les hydrocarbures qu'elle donne à la distillation sont en petite quantité et goudronneuses.

Lorsque la proportion de cendre est faible, le charbon est tellement friable qu'il supporte difficilement le transport, ce qui fait que le consommateur préfère souvent les houilles un peu moins riches : en revanche il fait d'excellent coke. La proportion d'oxygène combiné varie de 1 à 3 pour 100.

Les dépôts anciens ou *carbonifères* diffèrent assez peu en aspect des précédents et la succession des plantes est continue. L'épaisseur de ces dépôts est plus grande et la qualité en est plus régulière.

Ce terrain est surtout répandu sur la côte, au nord de Maryborough, de la rivière Burrum à la rivière Burnett ; il est recouvert dans le sud par le terrain crétacé, et se termine à l'ouest et au nord au pied des montagnes formées par les roches dévoniennes qui s'étendent vers le nord depuis la source de la Mary, près de Gynpie, jusqu'à la rivière Kolan. On le retrouve à Miva-Creek, sur la rive gauche de la Mary, ainsi qu'à Tiaro ; il paraît se continuer vers le sud, le long de la côte. On en trouve des traces à la rivière Dawson et à Peakdowns, près Clermont.

La masse principale est actuellement à la rivière Burrum, à 16 milles de l'embouchure, et à 17 milles au nord-ouest de Maryborough.

Le chenal de la rivière est taillé à travers le grès supérieur, dans le terrain carbonifère, montrant des traces de houille sur une longueur de 3 milles.

La houille se présente en onze couches; la couche supérieure, exploitée par les mines de Beauford et Howard, sur la rive gauche de Burrum, est à 50 pieds de la surface et a 4 pieds d'épaisseur ; la houille est bonne et presque exempte de schiste.

L'exploitation a été commencée en 1866, mais les inondations ont arrêté le travail, qui n'a été repris que récemment. La mine Beauford est actuellement la seule qui travaille.

A la rivière Bowen, une étude géologique a été faite en 1878 par ordre du gouvernement ; on rencontre, au-dessous des stratifications de grès, une houille dont l'âge n'a pas été exactement déterminé : c'est d'abord un dépôt très nettement d'eau douce, puis la formation devient marine. Elle repose sur un lit de porphyre et de basalte qui émerge aux monts Toussaint et Maudon et sous lequel se retrouve une nouvelle série carbonifère. Plus bas est un conglomérat de formation volcanique recouvrant les roches plutoniques et métamorphiques de Clarke Range.

C'est aux abords de la rivière Bowen que les couches apparaissent et qu'on en a étudié l'exploitation possible, mais jusqu'à ce jour les échantillons n'ont donné à l'analyse qu'une proportion de 38,6 pour 100 de carbone; c'est dire qu'ils sont pauvres et ne payeraient pas l'extraction si l'on ne devait penser que ce charbon, qui a été en contact avec des infiltrations ignées d'une grande dureté, de dolérite surtout, a été partiellement durci, et que la qualité sera bien supérieure dans les parties plus basses où il n'a pas été soumis à cette action métamorphique. Le géologue du gouvernement, à la suite de ses propres études et des observations faites par la « Bowen River Coal Association », propose l'ouverture de puits de 1000 à 1200 pieds de profondeur.

On a enfin trouvé des traces de bonne houille dans le district de Cooktown, à 25 milles de la côte environ, dans une formation appartenant à l'âge carbonifère qui couvre une grande surface.

On a trouvé du charbon dans le sud et dans l'est de la Tasmanie. Le gouvernement de Victoria fait de son côté tous ses efforts pour en découvrir, mais jusqu'à présent rien d'exploitable n'a apparu.

Van Diémen. — On a donné le nom de *tasmanite* à un charbon très riche en gaz de la terre de Van Diémen, qui s'exporte jusqu'en Allemagne et qui présente à l'œil nu un aspect très analogue à celui du cannel-coal. Sa teneur en cendre est de 5 à 6 p. 100. On y observe, sur des lames minces, de petits grains de couleur

claire comme dans le boghead, et l'action des réactifs oxydants permet également d'y reconnaître une grande quantité de spores, de filons tordus en spirales et de houppes d'algues, mais à filaments plus gros que ceux du cannel-coal et du boghead, et qui paraissent articulés. On distingue dans les cendres quelques aiguilles de fusain, formées de fibres ponctuées.

§ 6. EXPLOITATION DE LA HOUILLE

Il n'entre pas dans notre cadre de décrire les procédés d'extraction de la houille, auxquels il a nécessairement été fait d'ailleurs allusion à propos de la situation du combustible dans ses gisement naturels.

Ceux qui les premiers étudièrent les combustibles minéraux (1650-1780), Buache, Morand, etc., ne les signalèrent comme devant se substituer, dans la consommation domestique, aux combustibles végétaux, qu'à cause de la cherté de plus en plus grande de ceux-ci.

On sait que le développement de l'industrie houillère est tout à fait moderne, et ne prit quelque extension que vers la fin du dix-septième siècle. C'est de 1803 à 1805 que les houillères de la Belgique, faisant alors partie de la France et dirigées par les ingénieurs français, se développèrent avec le plus d'activité; ce n'est que depuis 1815 que l'industrie du fer prit les plus vastes proportions, pendant que les environs de Mons s'ouvraient en France de nombreux débouchés.

Si la Belgique, parce qu'elle était devenue française, produisit la première de la houille, ce fut la France qui, la première, la consomma. En effet, c'était pour envoyer de la houille à Rouen et à Pontoise que les premiers exploitants de l'Angleterre donnèrent signe d'existence commerciale, et l'activité industrielle des Flandres avait aussi pour débouché principal Paris et le nord de la France.

Le bois étant devenu très cher et très rare à Paris en 1774, on amena quelques bateaux de charbon de terre qui se débitèrent d'abord assez bien aux ports Saint-Paul et de l'École ; le peuple y accourut en foule, et même plusieurs bonnes maisons voulurent en essayer dans les poêles et dans les cheminées des antichambres ; mais la prétendue malignité de ses vapeurs et son odeur de soufre en dégoûtèrent bientôt les gens hatitués à la combustion inodore du bois de chauffage. Aussi les nouveaux marchands de charbon de terre cessèrent-ils bientôt d'en faire venir pour la consommation de Paris [1].

Le chiffre de l'extraction est maintenant rapidement croissant chaque année et nous aurons à y revenir, en même temps que nous constaterons les périls dont l'industrie de la houille est constamment entourée.

Laissant pour le chapitre relatif aux combustibles minéraux gazeux ce qu'il importe de dire à l'égard du grisou, nous signalerons seulement ici le danger que détermine dans les galeries de mines la présence de la poussière de houille en suspension dans l'air.

La première mention que l'on rencontre de cette influence est due à Faraday et

1. Challeton de Brughat, *De la Tourbe*, 1858.

à Lyell, chargés en 1844 d'une enquête administrative sur l'explosion de Haswell. On lit en effet dans le *Philosophical Magazine* de 1845 : « En considérant l'étendue du feu au moment de l'explosion, il n'est pas possible d'admettre que le grisou ait été le seul combustible lui ayant fourni aliment, la poussière de charbon soulevée par la violence du courant et de la flamme, et provenant du toit, du sol et des autres parois du chantier, aura dû prendre feu et brûler, si elle a rencontré dans l'air assez d'oxygène pour favoriser la combustion. Or nous avons trouvé que la poussière adhérente aux piliers, aux boisages, et en général à toutes les parois placées en regard du lieu de l'explosion, augmentait graduellement d'épaisseur jusqu'à une certaine distance, à mesure que nous approchons du point où cette explosion avait pris naissance. Cette épaisseur était sur quelques points de un demi-pouce ($0^m,0125$) et sur d'autres de presque un pouce ($0^m,025$). Bien qu'adhérente, elle était friable comme du coke et en présentait d'ailleurs l'aspect, lorsqu'on l'examinait à la loupe. En l'essayant chimiquement et en la comparant à la houille réduite en poudre, on a trouvé qu'elle avait perdu la majeure partie et quelquefois même la totalité des matières volatiles qu'elle possédait auparavant. Il y a donc toute raison de croire que la flamme du grisou, par suite du courant qui s'est produit, a provoqué, au moyen de la poussière et de l'air même de la mine, la formation d'une grande quantité de gaz ; là où la poussière n'a pas été carbonisée, c'est que l'air a manqué. »

Depuis, et à l'occasion de nouvelles catastrophes, le rôle des poussières fut soigneusement étudié par un grand nombre de praticiens.

Ces poussières sont, naturellement, très abondantes, elles sont dus au piétinement dans les galeries de roulage, et à l'abatage de la houille dans les tailles, qui sont parfois remplies d'un nuage presque irrespirable. C'est à elles que l'on a rapporté la maladie des mineurs appelée mélanose charbonneuse.

La combustion des poussières peut s'observer directement en dehors même des travaux souterrains. C'est ainsi que plusieurs inventeurs ont proposé des machines motrices à poussière de charbon. De même, dans le domaine de la métallurgie, MM. Whelpley et Storer en Amérique, ainsi que M. Crampton à Woolwich, appliquent au puddlage de longues flammes de poussière mélangée à l'air du ventilateur dans des proportions déterminées pour correspondre au maximum d'effet calorifique[1]. M. Petitjean, en projetant sur un feu ardent la poussière du charbon du puits Cinq-Sous, à Montceau-les-Mines, observait un effet analogue à celui de la poudre[2]. P. Thenard cite un cas d'inflammation provoquée par l'entrée d'un ouvrier avec une lampe à feu mise à l'intérieur d'une tonne destinée à la pulvérisation du charbon. M. Veillon a vu également se produire de petites explosions avec le broyeur du charbon[3]. P. Thenard a constaté que des eudiomètres, qui résistent à la détonation des gaz de l'eau, étaient brisés par une addition de poussière de charbon.

On sait que des poussières de farine, de garancine, de lycopode, de soufre, etc., présentent les mêmes dangers que les poussières du charbon.

Il est fort probable, ainsi que le fait remarquer M. Galloway, que les poussières ont autant de part que le grisou aux grands accidents des houillères. On ne saurait

1. *Annales des mines*, 7e série, t. VII, p. 171.
2. A. Burat, *les Houillères en* 1872, p. 128.
3. *Comptes rendus mensuels*, octobre 1878, p. 246.

en effet admettre avec les moyens d'aérage perfectionnés dont on dispose aujourd'hui et la surveillance dont les mines sont l'objet, qu'une atmosphère, qui ne donnait aucun signe de la présence du grisou quelques instants avant le coup de feu, ait pu se trouver subitement infectée dans *toute son étendue*, tandis qu'il est facile d'admettre qu'un point en particulier soit devenu explosif, et que les poussières aient pu transmettre le feu en se soulevant de proche en proche[1].

La présence des croûtes légères de coke sur les bois de soutènement a été souvent observée dans les grands accidents (Cinq-Sous, à Blanzy, en 1847, la Garenne, à Épinay, en 1871, etc.[2]. Suivant M. Verpilleux, on pourrait parfois remplir un mètre cube de ces matières agglutinées[3]. Elles ont été étudiées au puits Jabin par M. Mathet, qui en a fait, à l'aide de l'analyse chimique, la comparaison avec la houille du gîte[4]. Celle-ci renfermait 23.63 p. 100 de matières volatiles et le coke seulement 17.50, ce qui correspond à une perte de 6.13 p. 100 du poids de la houille, c'est-à-dire au quart à peu près de la teneur initiale en gaz. M. Chausselle a donné également l'analyse suivante[5] :

		Coke du dixième niveau.		Coke de la petite couche.
Coke { Carbone.	67.20	80.00	66.90	83.21
Coke { Cendres.	12.80		16.30	
Matière volatiles (abstraction faite des cendres).		22.94		20.08
Matières volatiles de la houille correspondantes (abstraction faite des cendres).		29.80		27.51

On obtient ainsi la preuve directe du dégagement de ce gaz qui a dû naturellement s'accompagner d'effets destructeurs considérables. En effet, d'après le chiffre de M. Mathet, 1 kilog. de poussière a dégagé 61 grammes de gaz. C'est-à-dire 84 litres à la température et à la pression normales. Mais ce volume s'est considérablement amplifié par l'ignition, et les calories dégagées ont dû dilater de même l'air ambiant. La perte de matière volatile, rapportée à celle qui est renfermée dans la houille, a été trouvée par M. Vital dans divers essais égale à $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{7}$[6], par M. Chausselle $\frac{1}{4.3}$, $\frac{1}{3.7}$[7], par M. Matthe $\frac{1}{4.7}$[8], par M. Villiers $\frac{1}{2}$[9]. M. Vital a constaté que les poussières qui ont fourni une première explosion ne sont plus aptes à en produire une seconde.

A Campagnac, M. Sibil a constaté que les fils à plomb destinés à diriger le perce-

1. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, p. 623.
2. *Annales des mines*, 7e série, t. II, p. 255.
3. *Ibidem*, 7e série, t. XII, p. 561.
4. *Encyclopédie des lettres, des sciences et des arts*, article Grisou, par M. Burat, p. 209.
5. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VI, p. 624.
6. *Annales des mines*, 1875, p. 186.
7. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*. 2e série, t. VI, p. 831.
8. M. Mathet, *Études sur le grisou*, p. 80.
9. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, p. 207.

ment étaient calcinés à la partie inférieure, tandis que le haut ne portait pas de traces de combustion. Les montants des cadres avaient conservé l'empreinte des flammes, mais les chapeaux en avaient été préservés. Les ouvriers étaient brûlés principalement dans la partie inférieure du corps. Toutes ces circonstances s'expliquent par la situation des poussières, qui sont accumulées surtout sur la sole de la galerie, tandis que l'inverse aurait dû avoir lieu avec le grisou, qui se tient au faîte.

M. Galloway admet l'accroissement du danger avec la profondeur, toutes choses égales d'ailleurs[1]. En effet la chaleur propre du globe tend à augmenter la dessiccation, et l'éloignement de la surface diminue les infiltrations, ce qui rend les poussières plus mobiles et plus redoutables. Il trouve un maximum de danger entre 120 et 215 mètres, au delà l'arrosage devient nécessaire, en dehors même de la question des explosions de poussière, pour l'hygiène de la population souterraine, si les circonstances locales ne donnent pas un excès d'eau.

Il faut signaler, comme une influence déplorable de ces pulvérulines, l'abondance de gaz irrespirables que dégage ordinairement leur combustion. Elle condamne à une asphyxie inévitable les hommes qui auraient pu échapper aux effets mécaniques et à l'action de l'éther du grisou.

On a attribué l'inflammation des poussières à la flamme des lampes, ou surtout au tirage des coups de mine. Des ingénieurs éminents, tels que M. de Villaine, pensent que cette dernière cause notamment peut allumer directement les poussières sans la présence du grisou. M. Vital a formulé les mêmes conclusions à la suite d'une série d'expériences intéressantes[2], instituées de manière à imiter les conditions d'un coup de mine. La présence d'un excès de carbone libre dans la poudre lui a paru faciliter l'inflammation du pulvérulin. L'effet est d'ailleurs nul dès que les dimensions des grains deviennent une fraction appréciable du millimètre. M. Planchard, ingénieur du Grand-Treuil[3], en faisant réfléchir sur une planche inclinée le jet d'une boîte d'artillerie, a vu la flamme s'élever d'une manière assez grêle à 2 mètres environ; tandis qu'en recouvrant le plancher de poussière de charbon il obtenait une colonne volumineuse de flamme de 5 mètres de hauteur.

Contrairement à l'opinion précédente, M. Verpilleux juge que la présence d'une certaine quantité de grisou est indispensable pour produire l'inflammation. Il compare le gaz à la capsule et le poussier de charbon à la poudre dans les explosions. M. Galloway partageait d'abord cette manière de voir, mais dans ces derniers temps il a semblé admettre que les explosions de poussière peuvent avoir lieu sans la présence d'aucune trace de gaz. Des expériences directes de MM. Mallard et Lechatelier ont tranché la question en montrant qu'en effet les poussières peuvent s'enflammer en l'absence complète du grisou.

A Beaubrun, à deux reprises différentes[4], des poussiers se sont enflammés au jour. Dans cette concession et à la fosse du chauffour d'Anzin, on a observé des flammes rougeâtres d'une dizaine de mètres, dues aux lampes ou aux coups de mine et qui ne peuvent être attribuées qu'aux poussières, car la flamme du grisou

1. Galloway, *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. VII, p. 649.
2. *Annales des mines* 7e série, t. VII, p. 195.
3. *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, p. 228.
4. *Annales des mines*, 7e série, t. VII, p. 176. — *Bulletin de la Société de l'industrie minérale*, 2e série, t. IV, p. 221 et 222.

est bleue. Il en a été de même à Bessèges, en 1869; à Sainte-Marie du Montceau, le 7 février 1871; au puits Sainte-Camille de la Péronière, le 6 juillet 1872; au puits Dyèvre de la Béraudière, le 12 décembre 1874, etc., etc.

Le 2 décembre 1875, une explosion eut lieu à Campagnan, à la suite du tirage d'un coup de mine. Elle brûla, à une quarantaine de mètres, trois ouvriers qui succombèrent au bout de quelques jours. Nul indice de grisou n'avait jamais été signalé dans cette couche. Cette accident, minutieusement étudié par M. l'ingénieur des mines Vital[1], a été rapporté à l'influence des poussières et a beaucoup contribué à rappeler l'attention sur cette question.

M. Pinel a également signalé le coup de feu de la Bérandière du 31 mai 1877, qu'il a paru impossible d'attribuer au grisou. On n'en avait, en effet, jamais observé la moindre trace depuis vingt-deux ans dans la grande couche, et on ne devait pas s'attendre à le voir apparaître en dernière tranche, après que toute la durée de l'exploitation avait contribué à fatiguer la houille. Un gouverneur fut cependant renversé à 200 mètres du lieu de l'explosion et les bois se trouvèrent tapissés de petits grains de coke, tous placés du côté du coup de mine.

Les poussières paraissent également avoir joué un rôle dans la catastrophe de Blantyre, en Écosse, le 22 octobre 1877. Les colonnes de fumée qui sont sorties de certains puits pendant plusieurs minutes, ne pouvaient, en effet, être dues qu'à la combustion des poussières. Le directeur a été brûlé à l'orifice du puits d'entrée d'air, ce qui suppose le refoulement d'un mélange capable de rester enflammé pendant quelque temps, et non, par suite, exclusivement gazeux[2].

C'est ici le lieu de rappeler en passant l'accident des plus étranges, dans lequel, comme tout à l'heure, le grisou n'était pour rien, et qui eut lieu dans la mine de Rochebelle ainsi que nous l'avons expliqué en traitant de l'allure du terrain houiller du Gard (Voy. page 238).

§ 7. ALTÉRATIONS DE LA HOUILLE

On doit à M. Wormley[3] différentes recherches sur des propriétés de la houille. Il a constaté ce fait assez singulier, vrai en tous cas pour l'Ohio, qu'à une température de 115° centigrades, la houille pulvérisée perd généralement moins de son poids dans un temps donné qu'à la température de 100°. D'après cela, si une houille est préalablement desséchée à 100°, puis exposée à une chaleur de 115°, elle devra augmenter lentement de poids par une absorption d'oxygène. D'un autre côté, lorsque la houille est chauffée à 115° dans une atmosphère de gaz acide carbonique, sa perte est généralement beaucoup plus grande qu'à 100°.

M. Wormley fait observer qu'une houille pulvérisée perd seulement de l'humidité pendant les deux premiers mois, mais qu'ensuite elle perd de la matière combustible volatile, la proportion de carbone fixe allant en augmentant. C'est du reste conforme à ce que l'on a reconnu depuis longtemps; car la houille éprouve des

1. Recherches sur l'inflammabilité des poussières de charbon (*Annales des mines*, 7e série, t. VII, p. 180).
2. *Rapport de la Commission du grisou.*
3. *Geological Survey of Ohio*, 1870.

altérations lorsqu'elle est exposée à l'action de l'atmosphère et, pour une analyse précise de houille, l'on devra toujours faire choix d'un échantillon frais, en ayant soin de rejeter sa surface.

En ce qui concerne la proportion de la matière combustible volatile, M. Wormley a reconnu, par une série d'analyses, qu'elle varie de 28 à 40 pour 100 du poids de la houille. De plus, la proportion de matière gazeuse fixe, dégagée de la houille, n'est pas toujours en rapport direct avec la matière combustible volatile. Par exemple, la houille contenant seulement 27,70 pour 100 de matière combustible volatile a dégagé 3,32 pieds cubes de gaz fixe par livre, tandis qu'une autre contenant 38,80 pour 100 de matière combustible volatile a dégagé seulement 3,03 pour 100 par livre.

Enfin MM. Wormley et Andrews ont encore reconnu que, contrairement à l'opinion généralement adoptée, le soufre de la houille n'est pas toujours complètement combiné avec le fer. En effet, une houille de Straitsville renfermait 0,56 pour 100 de soufre sur lequel 0,26 était resté dans le coke ; d'un autre côté, cette houille ne renfermait que 0,075 pour 100 de fer qui, pour se changer en pyrite ou en bisulfure, exigeait seulement 0,086 de soufre ; par conséquent 0,48 de soufre devait être engagé dans d'autres combinaisons que la pyrite.

Voici, comme exemple, les résultats de plusieurs analyses entreprises par MM. Wormley et Andrews pour éclairer cette question :

Soufre dans la houille.	0,057	0,980	0,091	0,860	4,040
Fer dans la houille	0,075	0,086	0,122	0,052	2,050
Soufre combiné avec le fer. . .	0,086	0,097	0,139	0,060	2,343

Il est donc bien visible que la plupart des houilles de l'Ohio ont généralement une quantité de soufre notablement plus grande que celle qui est nécessaire pour former de la pyrite avec le fer qu'elles contiennent.

Il faut ajouter que M. Rush Emery[1] ayant entrepris des recherches analogues sur les charbons d'Iowa, est arrivé à des résultats un peu différents. Il traitait d'abord ces charbons pulvérisés par de l'eau acidulée avec quelques gouttes d'acide chlorhydrique de manière à enlever les sels solubles de fer et de chaux ; puis il dosait le fer et le soufre dans le résidu. M. Rush Emery a constaté ainsi que le soufre se trouve dans une proportion tantôt égale, tantôt supérieure à celle qui répond à la formule de la pyrite de fer ; quelquefois même il est dans une proportion moindre.

Des résultats analogues ont été obtenus par M. Chauvenet pour les houilles du Missouri[2]. Ici encore les charbons contiennent tantôt moins et tantôt plus de soufre qu'il n'en faut pour former de la pyrite avec le fer qu'ils renferment.

Altération à l'air. — L'altération que les combustibles éprouvent, lorsqu'ils sont exposés à l'air, dépend essentiellement de leurs caractères minéralogiques

1. *American Journal*, 3e série, t. III, p. 34.
2. *Geological Survey of Missouri*, 1873, p. 37.

ainsi que de leur composition; voici les résultats obtenus par M. M'Creath[1] pour les houilles bitumineuses de la Pensylvanie.

A. Houille bitumineuse, fraîche, de la houillère Franklin.
A′ id. id. après 6 mois.
B. Autre houille bitumineuse, fraîche.
B′ id. id. après 6 mois.
C. Houille à gaz, fraîche.
C′ id. id. après 3 mois.

	Eau	Matières volatiles	Carbone fixe	Soufre	Cendres	Somme	Coke
A.	1,94	22,72	71,02	0,55	3,78	100,01	75,34
A′.	1,06	22,70	72,08	0,52	3,65	100,01	76,24
B.	1,94	22,72	71.56	»	3,78	100,00	75,34
B′.	1,06	22,70	72,59	»	3,65	100,00	76,24
C.	1,03	38,23	52,56	1,71	6,47	100,00	60,74
C′.	0,81	38,52	52,35	1,69	6,63	100,00	60,67

On voit que les houilles de Pensylvanie, qui ont été expérimentées n'ont éprouvé que peu de changements dans leur composition chimique, même après une exposition à l'air de plusieurs mois. Il est possible que ce résultat tienne à ce que ces houilles n'ont qu'une faible quantité d'eau ; on conçoit, en effet, qu'un combustible, contenant beaucoup d'eau et ayant une structure spongieuse, absorbera plus d'oxygène en convertissant son hydrogène carboné en eau et en acide carbonique[2].

Incendies spontanés. — Ces faits expliquent facilement que, dans de nombreuses localités, les houilles soient le siège d'incendies spontanés.

On observe dans un grand nombre de points du terrain houiller de l'Aveyron, et en particulier dans les montagnes qui environnent Cransac, un phénomène digne d'attention, c'est la combustion spontanée des couches de houille qui viennent affleurer la surface du sol, combustion qui se manifeste par un dégagement de gaz et de vapeurs simulant un volcan sur une petite échelle[3].

En s'approchant du lieu où cette combustion opère, on voit que le sol est miné, et l'on découvre, de distance en distance, de larges crevasses par lesquelles se dégagent de la vapeur d'eau et des fumées acides. Lorsqu'on est sur le bord de ces fentes, la chaleur devient insupportable, et l'on n'a plus lieu de s'étonner si les effets de cette chaleur, joints à l'action des vapeurs acides, ont modifié d'une manière si complète les lieux dans lesquels ces actions chimiques s'effectuent.

Dans quelques endroits on observe des masses de rochers formés de conglomérats qui, sous l'action de la chaleur, ont complètement changé d'aspect. C'étaient des

1. *Second geological Survey of Pennsylvanie*, 1874-1875, *Report of progress in the laboratory of the Survey at Harrisburg.*
2. *Revue de géologie*, t. XI, p. 202.
3. Ce qui suit est emprunté à un très intéressant travail de M. C. Blondeau, inséré dans les *Mémoires de la Société des lettres, sciences et arts de l'Aveyron*, t. VII, Rodez, 1850.

grès, des schistes des argiles qui formaient le sol de la montagne brûlante ; ces substances ont pris l'aspect de calcédoines, de jaspes, de porcelaines, d'émaux, de verres, de briques, et quelquefois même l'apparence caverneuse de pierres volcaniques.

Les agrégats que ces substances forment avec l'argile durcie au feu ont acquis quelquefois la dureté des pierres les plus résistantes.

Le terrain, miné par suite des actions chimiques qui s'accomplissent dans son sein, finit par s'affaisser et par donner naissance à des cônes renversés qui imitent, jusqu'à un certain point, le cratère d'un volcan, et auprès desquels on rencontre un grand nombre de produits volcaniques, et en particulier des cristaux de soufre et de chlorhydrate d'ammoniaque.

Sur cette terre brûlante se trouvent une foule de concrétions salines et d'efflorescences de diverses couleurs, composées pour la plupart de substances solubles dans l'eau et qui donnent naissance à des eaux minérales acidules.

L'énorme quantité de pyrite de fer qui se trouve répandue dans les diverses couches du terrain houiller de cette localité, mise en contact avec l'air atmosphérique, brûle en donnant naissance à du gaz sulfureux qui, lui-même, se transforme en acide, sous l'influence de l'air et de bases telles que la chaux, la magnésie, l'alumine, l'oxyde de fer. Les sulfates de fer et d'alumine qui se forment dans cette circonstance sont quelquefois décomposés eux-mêmes par l'action de la chaleur, et de l'acide sulfurique mis en liberté se dégage avec la vapeur d'eau, et va attaquer les substances organiques et inorganiques à quelque distance.

La température qui résulte de ces différentes actions chimiques est quelquefois assez élevée pour déterminer l'inflammation des couches de houille qui viennent affleurer le sol, et les produits de la combustion et de la distillation se joignent aux vapeurs d'eau et d'acide sulfurique.

L'acide sulfurique doit exercer une action très énergique sur les substances minérales et organiques qu'il rencontre sur son passage ; et en effet on observe que les troncs d'arbres situés dans le voisinage revêtent une couleur tout à fait semblable à celle que prennent les bois que l'on a plongés dans l'acide sulfurique ; et quant aux substances minérales, elles sont aussi fortement attaqués par cet agent énergique, qui exerce son action sur l'alumine, la chaux, la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse, ainsi que sur les alcalis qui entrent dans la composition des roches du terrain houiller. Par suite de cette action, des sulfates prennent naissance, et ces sels, se combinant entre eux, forment des sulfates doubles, tels que l'alun à base de potasse, qui se produit en assez grande abondance pour que pendant longtemps on l'ait utilisé pour les besoins de l'industrie.

D'après un premier examen de la nature des efflorescences, on serait porté à penser qu'elles sont entièrement formées de sulfates des différentes bases que nous venons de mentionner ; mais on y rencontre en outre les produits de la distillation de la houille, c'est-à-dire du chlorhydrate et de l'iodhydrate d'ammoniaque ; et comme de l'arsenic se trouve associé aux minerais de fer de cette contrée, on trouve encore au milieu de ces produits volatilisés une grande quantité de sulfure d'arsenic.

Efflorescences salines alunifères :

Au nombre des efflorescences que l'on rencontre sur la montagne brûlante de Cransac, il en est qui présentent un intérêt particulier, en ce qu'elles ont été utilisées autrefois pour la fabrication de l'alun. Ces efflorescences sont de couleur

blanche, tirant un peu sur le jaune; elles se pulvérisent facilement; elles sont en partie solubles dans l'eau, et leur saveur est à la fois acide et styptique. Leur réaction est aussi fortement acide, et elles contiennent de l'acide sulfurique libre en si grande quantité qu'elles rongent le papier dans lequel on les tient renfermées.

Ces efflorescences salines sont formées par la réunion de sulfates de fer, d'alumine, de magnésie et de potasse.

Voici leur composition exprimée en centièmes :

Alun sec	Sulfate d'alumine	15,22
	Sulfate de potasse	7,73
	Sulfate d'alumine	59,15
	Sulfate de peroxyde de fer	9,10
	Sulfate de magnésie	4,80
	Acide sulfurique libre	11,47
	Eau	12,53
		100,00

Efflorescences blanches cristallisées en aiguilles soyeuses :

Ces efflorescences ont une saveur fraîche et acide, elles sont très solubles dans l'eau, insolubles dans l'alcool concentré. Elles communiquent à l'eau dans lesquelles on les dissout une réaction acide; elles fondent dans leur eau de cristallisation.

Composition de l'efflorescence exprimée en centièmes :

Sulfate d'alumine	51,55
Eau	48,45
	100,00

Ce résultat s'accorde avec la formule $(SO^3)3Al^2O^3 + 18HO$; c'est-à-dire que ces efflorescences soyeuses et cristallines ne sont autre chose que du sulfate neutre d'alumine à 18 équivalents d'eau.

Efflorescences blanches en aiguilles déliées :

Leur saveur est amère, et en outre, étant dissoutes dans l'eau, elles ne communiquent pas à ce liquide de réaction acide.

Elles contiennent :

Sulfate de magnésie	75,80
Eau	24,20
	100,00

Ces résultats s'accordent assez exactement avec la formule $SO^3MgO + 2HO$, ce qui nous apprend que ces efflorescences sont formées par du sulfate neutre de magnésie à 2 équivalents d'eau.

Ce sulfate de magnésie provient sans doute de la calcination spontanée de quelques minerais de fer qui renferment une grande quantité de carbonate de magnésie et que l'on rencontre aux environs de Cransac.

Efflorescences jaune orange :

Ces efflorescences, d'une belle couleur jaune orange, se présentent sous une

forme vitreuse. Chauffées dans un tube, elles se volatilisent; jetées sur des charbons, elles répandent une odeur d'ail très prononcée ; elles sont solubles dans l'ammoniaque et dans l'eau régale; traitées par l'acide azotique, elles le décomposent avec dégagement d'acide hypoazotique. A ces caractères il est aisé de reconnaître le sulfure rouge d'arsenic, le réalgar.

L'analyse a donné :

Soufre.	29,59
Arsenic	69,79
	99,58

D'après ces résultats on est en droit d'admettre que les efflorescences rouges que l'on rencontre à Cransac sont formées de réalgar très pur.

Efflorescences jaunes :

Ces efflorescences jaunes vitrifiées diffèrent des précédentes par leur couleur, mais elles ont avec elles la plus grande analogie sous le rapport de leurs propriétés chimiques, c'est-à-dire que, placées sur des charbons incandescents, elles laissent dégager de la vapeur arsenicale ; elles sont solubles dans l'ammoniaque et dans l'eau régale. Traitées par l'acide azotique, puis introduites dans l'appareil de Marsh, elles fournissent des taches arsenicales en très grande abondance. D'après ses propriétés physiques et chimiques, on est porté à croire que ce sulfure d'arsenic n'est autre que celui qu'on a désigné sous le nom d'orpiment.

C'est en effet ce que confirme l'analyse :

Soufre.	39,25
Arsenic	60,18
	99,43

On trouve dans le voisinage de ces efflorescences d'autres substances analogues dont la couleur varie depuis le jaune orangé le plus vif jusqu'au jaune le plus clair. Ces efflorescences sont des mélanges, dans diverses proportions de soufre, d'orpiment et de réalgar.

Efflorescences salines chlorurées :

Nous avons vu les pyrites de fer se transformer au contact de l'air en sulfate de fer, et la chaleur qui se développe dans cette circonstance donne naissance à un nouveau phénomène, à la distillation de la houille située dans le voisinage du lieu où ces réactions chimiques s'accomplissent. Les produits de cette nouvelle réaction sont assez complexes ; on y rencontre tous les produits volatils que fournit la distillation de la houille, tels qu'hydrogène carboné, hydrogène sulfuré, oxyde de carbone, acide carbonique, sulfure de carbone, chlorhydrate d'ammoniaque, iodhydrate d'ammoniaque, et ces derniers produits solides se trouvent mélangés à du soufre et à du sulfure d'arsenic qui se sont volatilisés en même temps que les sels en question.

A peu de distance du foyer où s'accomplissent ces combustions et ces distilla-

tions, on rencontre, sous forme de plaques, des efflorescences de l'aspect le plus curieux. Ces efflorescences présentent à leur surface des parties vitrifiées d'une belle couleur rouge, supportées par des matières pulvérulentes jaunes au-dessous desquelles se trouvent des plaques blanches et cristallines d'une saveur salée et acerbe. Ces efflorescences sont en partie solubles dans l'eau, à laquelle elles communiquent leur saveur salée et une réaction neutre. Placés sur des charbons incandescents, elles brûlent avec une flamme légèrement bleuâtre et leur odeur fortement liliacée indique qu'elles renferment de l'arsenic :

L'analyse a donné :

Sulfure d'arsenic	10,28
Soufre	83,60
Chlorhydrate d'ammoniaque	3,68
Iodhydrate d'ammoniaque	0,76
Sulfate de peroxyde de fer	0,84
Sulfate d'alumine	0,24
Sulfate de magnésie	0,33
Sulfate d'arsenic en dissolution	0,27
	100,00

A côté de ces efflorescences, on en rencontre quelques autres dans lesquelles le chlorhydrate et l'iodhydrate d'ammoniaque se trouvent presque à l'état de pureté ; ainsi retrouve-t-on en dissolution ces sels dans toutes les eaux qui découlent de la montagne brûlante de Cransac.

Commentry. — Des faits analogues ont été observés dans beaucoup d'autres points et, par exemple, à Commentry où des schistes fondus et soumis à un refroidissement convenable ont donné lieu à des cristallisations variées.

M. Mallard[1] en a fait connaître quelques-uns.

A la suite d'une excursion géologique que je fis dans le département de l'Allier, le savant directeur des mines de Commentry, M. H. Fayol, me remit la collection des produits recueillis dans les incendies spontanées des houillères. Parmi les échantillons les plus remarquables de cette série, qui sera décrite complètement ailleurs, j'en ai distingué qui me paraissent dignes d'être signalés tout de suite[2]. Ils proviennent de Saint-Front et consistent, pour qui les observe à l'œil nu, en masses vitreuses tout à fait comparables aux obsidiennes et aux perlites et dérivent évidemment, par voie ignée, des roches schisteuses.

Toutefois, dès qu'on en place sous le microscope une lamelle convenablement amincie, on reconnaît que cette substance est loin d'être entièrement amorphe. Dans un verre brunâtre à peu près inactif sur la lumière polarisée et tout traversé de fissures en sens divers se présentent des microlithes assez variés. Je mentionnerai tout d'abord des amas plus ou moins globulaires de couleur sombre et qui, sous

1. *Comptes rendus*, t. XCII, p. 933.
2. Stanislas Meunier, *Comptes rendus de l'Académie des science*, t. XCIX, p. 1166. 1885).

de forts grossissements, se montrent riches en filaments analogues à ceux des dendrites profondes comme on en voit par exemple dans les agates mousseuses.

D'autres microlithes sont pourvus de formes cristallines.

Je décrirai rapidement les principaux.

Le minéral le plus apparent et le plus répandu se présente en grains brunâtres plus foncés que la nuance générale du verre qui les empâte et dont la dimension majeure est de 7 à 8 centièmes de millimètre. Leur absence de dichroïsme, la forme très caractéristique de leurs contours et les angles d'extraction de beaucoup d'entre eux permettent de rattacher ces grains au pyproxène augite. Au grossissement de 180 diamètres on observe dans leur masse un très grand nombre de petits points noirs opaques sans forme définie et qu'on peut croire charbonneux. Ces grains sont parfois disposés en auréoles parallèles au contour du cristal qui les contient. Une autre particularité très remarquable, visible au même grossissement, concerne la forme même des contours cristallins, qui, au lieu d'être composés de lignes droites, se montrent modifiés par des séries de dents de scie plus ou moins irrégulières, donnant aux grains un aspect *déchiqueté* tout à fait spécial.

Un second minéral extrêmement visible se présente en prismes mâclés d'une longueur voisine de 0mm,07 tout à fait uniforme. Ces cristaux, de nuance plus claire que les précédents, exercent une action très nette sur la lumière polarisée. Dans la zone de l'allongement ils s'éteignent parallèlement, à la manière de l'enstatite. En divers points ce minéral est intimement associé aux lamelles augitiques décrites précédemment; il semblerait qu'il ait servi de centre d'attraction à la substance de celles-ci. Souvent la double aiguille est parallèle aux côtés ou aux diagonales des lamelles rhombiques du pyroxène.

On doit noter la présence de quelques cristaux, beaucoup plus rares que les précédents, limpides et prismatiques, appartenant encore très certainement au groupe pyroxénique; ils sont tantôt isolés, tantôt groupés entre eux.

Un minéral feldspathique, moins abondant que l'augite, se rencontre dans le verre de Commentry en cristaux aciculaires très allongés, mâclés et très actifs sur la lumière polarisée. En divers points on trouve des cristaux de ce genre très caractérisés s'éteignant vers 45°, comme l'anorthite

Ce feldspath s'est rencontré en noyaux cristallins autour desquels les microlithes de pyroxène sont particulièrement nombreux. Ces aggrégats peuvent atteindre une dimension assez grande et où le feldspath et le pyrox sont entièrement associés. J'en ai noté un de 1mm,5.

De pareilles régions constituent, à l'échelle microscopique, de vraies roches cristallines analogues à celles que rejettent les volcans et dont l'origine est ici bien évidente : des schistes soumis à la forte chaleur des incendies de houillères ont été vitrifiés et le verre produit, soumis longtemps à une température peu inférieure à celle qui l'aurait fondu, s'est dévitrifié plus ou moins complètement suivant les points. Les échantillons de Saint-Front me paraissent préciser mieux que beaucoup d'autres les conditions thermométriques de cette synthèse du pyroxène et de l'anorthite, et l'on peut se demander si la vitrification primitive des schistes houillers n'a pas été réalisée sans fusion véritable ou du moins sans liquéfaction complète. Il est facile, en effet, de reconnaître au microscope que le verre cristallifère a conservé la structure rubanée si fréquente dans les thermantides qui l'accompa-

gnent. Les microlithes y sont disposés en bandes grossièrement parallèles entre elles. mais sans y affecter l'orientation générale qui caractérise la fluidalité.

Loire. — Lorsqu'on parcourt le bassin houiller de la Loire, assez fréquemment on rencontre des déblais de puits en exploitation d'où s'échappent, par une foule de points[1], de la fumée ou de la flamme, visible surtout pendant la nuit. Le même phénomène se montre dans certaines mines embrasées, et que le feu a fait abandonner. Dans ces endroits le sol, toujours chaud, est parfois brûlant.

Autour des fumerolles apparaissent des efflorescences blanches, rouges, orangées, jaunes et noires; de plus, il se forme une croûte plus ou moins dure et épaisse. M. Mayençon a entrepris l'étude des produits qui composent ces efflorescences et cette croûte : ils sont nombreux et complexes, ils résultent de l'action du feu sous-jacent et de l'air sur les éléments de la houille et des schistes environnants.

Voici la liste des principaux corps trouvés par l'auteur :

I. — Efflorescences.

A. Efflorescences blanches.	Chlorhydrate, Bromhydrate, Iodhydrate d'ammoniaque, en beaux cristaux. Acides arsénieux, souvent en octaèdres. Dans quelques-unes, l'alumine et un peu de glucine, probablement à l'état de chlorures.
B. Efflorescences rouges	Réalgar { fondu ou mamelonné. / cristallisé en prismes obliques.
C. Efflorescences orangées	Mélanges en proportions variables de : Chlorhydrate, Bromhydrate, Iodhydrate d'ammoniaque. Faibles quantités d'alumine et de glucine (chlorure ou sulfates). Réalgar amorphe. Orpiment. Soufre octaédrique.
D, Efflorescences rouges.	Les mêmes produits que pour **C**, moins le réalgar.
E. Efflorescences noires.	Insuffisamment étudiées. De l'arsenic natif, de l'arsénite d'ammoniaque. Du sulfoarséniure d'ammonium, des sulfates. Des sulfites et des hyposulfites.

1. Extrait d'une lettre de M. Mayençon à M. Boussingault, *Comptes rendus*, t. LXXXVI, 18 février 1878, p. 491.

II. — Croute.

Alun d'ammoniaque, alun de potasse.
Sulfate d'alumine, en grande quantité.
Sulfates de protoxyde et de sesquioxyde de fer.
Sulfate d'ammoniaque.
Chlorure, Bromure, Iodure } d'ammoniaque.
Composés arsénifères, arsenic cristallisé.
Galène sublimée, en cubes et en trémies.

Les corps qui sont le plus abondants sont les composés ammoniacaux, l'arsenic, l'aluminium, le fer, le chlore et le soufre.

Combustion spontanée du charbon en mer. — L'inflammabilité spontanée du charbon peut avoir des conséquences extrêmement graves et, par exemple, lorsque l'incendie ainsi produit se déclare en mer.

Le *Bon Raphael* partit, avec un chargement de charbon, de Liverpool pour Valparaiso; lorsqu'il fut au large du cap Horn, le feu se déclara dans sa cale; l'équipage se réfugia dans trois canots, sur lesquels deux d'entre eux furent recueillis par un navire. Les onze personnes qui se trouvaient dans ces canots avaient horriblement souffert, pendant une période, de privations de toute nature. On eut plus tard des nouvelles des neuf personnes qui montaient le troisième canot; des indigènes se livrant à la chasse des veaux marins racontèrent à un missionnaire qu'ils avaient découvert les restes de huit hommes et d'une femme sur une île déserte où ils devaient avoir péri d'inanition. Les papiers trouvés près des squelettes firent connaître que ceux-ci appartenaient à l'équipage du bâtiment incendié.

La fréquence des accidents dus à cette cause a donné lieu à de nombreuses enquêtes, à la suite desquelles on paraît avoir uniformément conseillé la ventilation des cales, comme moyen préventif contre la combustion spontanée.

Cependant l'expérience paraît prouver que plus les navires sont ventilés, plus les incendies sont fréquents. Quatre navires chargèrent à la fois, à New-Castle, du charbon de même qualité, provenant de la même couche. Trois de ces navires, partis pour Aden, furent soigneusement ventilés; le quatrième, dont la destination était Bombay, ne fut pas du tout ventilé. Le chargement de chacun d'eux se composait de 1500 à 2000 tonnes de charbon. Les trois navires ventilés furent perdus complètement à la suite de combustions spontanées, le quatrième arriva en sûreté à Bombay.

Plusieurs faits de même nature n'ont pu ébranler la confiance des fréteurs et des armateurs dans le procédé de la ventilation. Une commission, composée d'hommes tels que M. le docteur Percy et le professeur Abel, fut nommée pour approfondir les causes de ces accidents, qui, malheureusement, prennent parfois les proportions d'un désastre.

Le rapport dressé par cette commission a été déposé devant le Parlement anglais;

il conclut que la ventilation n'est pas le moyen propre à empêcher une combustion spontanée, surtout lorsqu'il est question de chargements transportés au delà des tropiques, et signale les conditions qui donnent lieu à l'inflammation du charbon.

Parmi les causes prédominantes, il faut ranger en première ligne le développement de chaleur dû à l'action chimique résultant de l'oxydation des substances contenues dans le charbon. La combinaison la plus favorable pour ce développement de chaleur est celle du soufre et du fer. L'humidité de l'air facilite l'oxydation, celle-ci est accompagnée par un dégagement de chaleur souvent assez intense pour enflammer le charbon. Il est évident dès lors que tout accroissement de ventilation sert uniquement à accroître la vigueur de l'action chimique, ce qui amène trop souvent la destruction totale du navire.

Une autre source de dangers provient de la présence dans les cales d'une assez grande quantité de carbone finement divisé, pour ainsi dire à l'état poreux, de son avidité pour absorber et condenser dans ses pores d'assez grands volumes d'oxygène et d'autres gaz, lesquels ne tardent pas à engendrer un foyer de chaleur; en effet, la tendance à l'oxydation, possédée par le carbone et par certains de ses composés, est favorisée par la condensation de l'oxygène dans les pores, ce qui établit un contact plus intime entre les particules d'oxygène et le carbone. D'où le développement de chaleur par l'absorption et l'établissement de l'oxydation, qui se présentent simultanément ; à mesure que la chaleur s'accroît, l'oxydation devient de plus en plus énergique, jusqu'à ce que le carbone soit arrivé à son point d'ignition.

La réduction du charbon en poussière avant et pendant l'embarquement, résultant d'une manipulation grossière, favorise ces conditions dangereuses.

Les risques de combustion spontanée sont largement accrus par la durée du voyage et l'importance du chargement transporté. Dans la plupart des cas, l'incendie s'est propagé sur des navires porteurs de plus de 500 tonnes de charbon, chargés pour la côte occidentale de l'Amérique du Sud, pour San Francisco, et les ports asiatiques au delà de la Méditerranée et la mer Noire. Quatre pour cent des navires chargés pour ces destinations diverses se perdirent en 1874; sur un total de 51 116 navires ainsi frétés, 1181 seulement avaient une destination lointaine; plus des cinq septièmes des accidents résultèrent de l'inflammation du chargement.

Il y eut en totalité 70 incendies, sur lesquels 10 seulement se produisirent sur les navires ayant un port européen pour lieu d'arrivée.

Si l'on considère que plus de dix millions et demi de tonnes étaient destinées à l'Europe, et seulement moins de trois millions pour les ports de l'Asie, de l'Afrique et de l'Amérique, on reconnaîtra quelle est l'influence de la durée des voyages sur la combustion spontanée.

Ainsi qu'on l'a déjà fait remarquer, les navires les mieux ventilés supportèrent la plupart de ces désastres.

En résumé, les conclusions de la commission sont opposées à la ventilation des cales de chargement. Elle signale aussi les dangers que certaines qualités de charbon font courir au navire et fait observer qu'il est téméraire d'embarquer du charbon pyriteux humide, ou du charbon menu.

Une circonstance inattendue et assez singulière a été révélée pendant le cours de cette enquête. L'augmentation des écoles des pauvres et l'accroissement des incendies à la mer paraissent tout d'abord être deux choses complètement indépendantes l'un

de l'autre. Il n'en est pourtant pas ainsi, puisque les inflammations paraissent, dans une certaine mesure, être attribuables aux écoles. Voici pourquoi :

La présence des pyrites dans le charbon est l'une des causes dominantes de la combustion spontanée. Les enfants des mineurs étaient employés dans les mines à trier les mottes pyriteuses (*brassy lumps*) et à les mettre de côté. Le premier effet du *Education Act* fut d'enlever les enfants à ces travaux pour les envoyer à l'école. Les pyrites ne furent plus du tout mises à part. Il en résulta un accroissement remarquable de l'embrasement des navires chargés de charbon[1].

Métamorphisme. — Parmi les altérations de la houille il faut mentionner celles qui résultent des actions métamorphiques. La plupart des anthracites doivent être considérées comme des houilles métamorphisées.

En examinant les charbons du bassin d'Ahun dans la Creuse, M. Gruner[2] a constaté qu'ils sont maigres dans le district central, tandis qu'ils sont gras et collants aux deux extrémités, particulièrement vers le sud. Ainsi, au centre du bassin ils contiennent 12 à 20 pour 100 de matières volatiles, et aux extrémités ils n'en renferment pas moins de 25 à 30 pour 100.

Comme l'observe M. Gruner, aucune circonstance extérieure n'explique cette différence ; car partout le bassin houiller d'Ahun est entouré par le granit. De plus, les charbons les plus riches en matières volatiles se trouvent spécialement vers le sud du bassin et cependant le terrain houiller y est traversé par un porphyre noir. La différence entre les charbons d'Ahun ne saurait donc être attribuée à cette dernière roche.

Elle tient sans doute aux circonstances qui ont présidé à leur formation et M. Gruner se demande si elle ne provient pas de sources thermales qui ont pu se faire jour le long de la grande faille du Saint-Martial, qui est transversale au bassin. Il est d'ailleurs naturel de croire que la partie centrale du bassin a été enfouie plus profondément que ses deux extrémités; par suite, les couches de houille y supportaient une pression plus forte, elles étaient même soumises à une température plus élevée ; en sorte qu'elles devaient par cela même être plus métamorphisées.

Les cas de métamorphisme de la houille par le voisinage de roches éruptives sont particulièrement nets.

Les combustibles du *Colorado*, étudiés par M. Chaper, fournissent des exemples remarquables de métamorphisme au contact de roches trapéennes. Des essais ayant pour but de déterminer les changements subis par ces combustibles ont été faits sous la direction de M. Moissenet, au bureau d'essais de l'École des mines.

A Walsemberg, le combustible normal A (voir le tableau suivant) est métamorphosé en un coke friable A', sur toute son épaisseur, qui est d'environ $1^m,5$; ce métamorphisme a été produit par un trapp très compacte, rempli d'amygdaloïdes calcaires, qui a une puissance de 6 mètres. Près de Trinidad, dans un vallon de la rive gauche du Purgatoire, le combustible B est de même complètement métamorphosé en un coke B' qui est dur et présente une structure prismatique bien caractérisée.

1. *Nature*, *Scientific American* et *Revue maritime*, 5e année, 1877, 2e semestre.
2. *Étude des bassins houillers de la Creuse*, p. 55.

	A	A'	B	B'
Matières volatiles	34,80	16,00	33,60	3,40
Carbone fixe.	61,20	71,00	62,90	68,60
Cendres.	4,00	13,00	3,50	28,00
	100,00	100,00	100,00	100,00

Comparant la conductibilité de ces combustibles pour l'électricité, en les maintenant à l'aide d'une pince de zinc dans un disque de sulfate de cuivre, M. Moissenet a constaté que A ne reçoit pas de dépôt de cuivre, tandis que A' en donne un très faible au bout d'un quart d'heure et que sur B' le dépôt de cuivre est immédiat et très abondant; ainsi, le coke naturel, qui accuse le métamorphisme le plus énergique, possède la conductibilité électrique la plus grande ; cette dernière est même supérieure à celle du coke artificiel.

L'analyse des cendres du coke B' a montré d'ailleurs qu'elles étaient formées de 15 pour 100 de carbonate de chaux, 10 pour 100 d'argile et 3 pour 100 de quartz.

Ces résultats viennent confirmer ceux obtenus précédemment par Delesse[1]; ils montrent que le combustible au contact des filons de trapp du Colorado a quelquefois subi l'action de la chaleur, qui l'a changé en coke ; mais il n'a pas toujours perdu complètement ses matières volatiles ; de plus, bien que les échantillons comparés AA' et BB' n'appartiennent pas à la même couche, l'augmentation des cendres, qui est très notable près du contact, fait bien voir que le combustible a été fortement imprégné de matières minérales.

A la mine des environs de Trinidad, en particulier, l'éruption du trapp devait être accompagnée d'eaux siliceuses puisque M. Chapper a observé des cristaux de quartz qui tapissent les fissures de la roche encaissante.

Il est vrai qu'à l'inverse, Gruner[2] a cité une roche trappéenne du bassin d'Ahun, qui n'a exercé aucune action sensible sur la houille avec laquelle elle est en contact.

Mais M. Fouqué a fait observer à ce sujet que pour expliquer cette absence d'altération, il n'est pas nécessaire de supposer que la roche trappéenne soit venue au jour plutôt à l'état de dissolution qu'à celui de fusion, car il a remarqué dans l'éruption de l'Etna de 1865 des cas où la lave formait autour de quelques arbres des gaines qui se solidifiaient sans brûler les troncs : ce qu'il attribue à ce que le dégagement de vapeur d'eau était assez énergique pour empêcher le contact immédiat et pour déterminer la formation dans la lave d'une pellicule solide qui protégeait l'arbre contre la combustion.

Quoi qu'il en soit, c'est en se fondant sur l'action ordinaire des roches ignées que M. Durand s'est demandé si l'on ne doit pas attribuer la rapidité de la transfor-

1. *Annales des mines : Études sur le métamorphisme des roches.*
2. *Bulletin de la Société géologique de France*, 3e série, t. XXIII, p. 79.

mation des végétaux en houille aux actions éruptives auxquelles a été soumis le bassin de Commentry pendant toute la durée du dépôt du terrain houiller.

La dioritine, dit-il, existe dans le bassin de Commentry ; on en trouve aussi des amas importants dans celui de Villefranche.

La couche de houille des Ferrières, traversée par la dioritine, a été transformée en une espèce de coke jusqu'à 50 centimètres du point de contact. A Commentry, le charbon de la grande couche passe à une matière noire très dure au contact de la dioritine. Cette dernière envoie quelques ramifications dans le toit de la couche, et elle ne semble pas avoir eu d'action sur les terrains schisteux qui l'environnent. Enfin, à Doyet, la qualité de la houille ne change pas d'une manière appréciable dans le voisinage de la dioritine.

La dioritine passe quelquefois sur ses bords à une argile blanche remplie de mica noir. On trouve aussi une argile tout à fait semblable, en lentilles irrégulières, au milieu de la grande couche, où sa couleur blanche produit un contraste frappant avec le noir du charbon et des schistes qui l'entourent. En général, le mica manque totalement dans cette argile, à laquelle les mineurs ont donné le nom de *lien blanc*.

Les liens blancs se montrent en bancs assez réguliers et d'une certaine étendue, en dehors des couches, à différents niveaux du terrain houiller, et jusque dans la formation anthraciteuse du bassin de Villefranche, formation située à la base et distincte du véritable terrain houiller. Ce sont des roches homogènes, compactes, sans stratification réelle, nuancées quelquefois de diverses couleurs. La dioritine trouvée à Doyet, à 145 mètres de profondeur, est aussi colorée et presque identique à certains liens blancs à nuances roses; ces deux sortes de roches ne diffèrent, dans ce cas, que par le mica, qui est abondant dans la dioritine.

Les liens blancs, qui n'ont pas le caractère des couches de sédiment et sont très probablement d'origine éruptive, n'ont pourtant pas laissé de traces d'action sur les bancs en contact. M. Mallard, ingénieur en chef des mines, pense que c'est de la boue rejetée des volcans de l'époque carbonifère.

Les fissures par où sortaient de la dioritine et des boues devaient fournir encore des eaux minérales à une température plus ou moins élevée, des gaz, des vapeurs, et peut-être des bitumes aussi. C'est à l'action physique ou chimique de ces produits accessoires couvrant ou pénétrant, imprégnant les dépôts d'alentour, que pourrait être attribuée, dans l'esprit de certains observateurs, la transformation rapide des végétaux primitifs du bassin en une houille parfaite.

M. Durand, sans avoir de faits positifs à citer à l'appui de cette dernière hypothèse, fait cependant remarquer que dans les trois bassins de Commentry, de Doyet et de Villefranche, les régions les plus riches en combustibles sont aussi celles où les émissions de dioritine ont été le plus abondantes. Les amas de dioritine sont assez puissants à Doyet : on en trouve aussi beaucoup autour du bassin où s'exploite la couche des Ferrières. On en voit également à Commentry, à Deneuville, et surtout au mur des couches de Buxières, où paraît l'amas le plus important. Un amas considérable de dioritine grise se voit encore au mur et à côté de la couche de Saint-Éloy (Puy-de-Dôme). En dehors de ces régions charbonneuses riches, ou du moins exploitables, les amas de dioritine sont rares ou manquent complètement.

§ 8. APPLICATIONS DE LA HOUILLE. — RÉSERVE FUTURE DES HOUILLÈRES

« La véritable histoire de la houille, dit M. Simonin, commence avec le dix-huitième siècle ; on dirait qu'elle est liée à l'histoire de l'esprit moderne. Et voyez comme tout s'enchaîne ! c'est dans les mines de houille que la machine à vapeur est inventée. En Angleterre, des chantiers profonds sont inondés dans les houillères de Newcastle. On doit d'abord retirer les eaux, si l'on veut continuer à extraire le charbon ; mais la pompe, restée la même depuis Archimède, ne suffit plus ; il faut un engin plus puissant. Savery, Newcomen, Watt, arrivent successivement ; — trois ouvriers qui deviendront trois hommes de génie ! La *pompe à feu*, la machine à vapeur est trouvée ; Watt en arrête presque définitivement les principales dispositions et désormais ce n'est plus l'eau seulement, c'est la houille que la machine extraira des profondeurs du sol, et cela en quantités si considérables qu'elles soient.

« Ce n'est pas tout, le charbon est matière lourde, encombrante, se vend à bas prix. Il ne suffit pas de l'arracher aux entrailles du sol, il faut encore le transporter économiquement, souvent à de très grandes distances. Qui rend le transport difficile, coûteux? L'état des chemins. On modifie ces chemins, sans se douter de la portée immense du résultat qu'on va bientôt obtenir. On imagine les ornières de bois sur lesquelles les roues glissent avec facilité. On les applique d'abord dans les galeries souterraines, puis aux voies de la surface. Mais le bois bientôt s'altère, se pourrit. On remplace les ornières de bois par des ornières de fonte creuses, puis plates, avec un rebord latéral. Le fer ne tarde pas à être substitué à la fonte ; le ruban de métal ou *rail* est trouvé, et avec lui le *railway*, le chemin de fer. Cela se passe dans les houillères du pays de Galles, comme dans celles du comté de Newcastle est née la machine à vapeur. Attendez, l'invention n'est pas encore parfaite. Le Gallois Trewithick a construit une locomotive avec une simple chaudière cylindrique comme celle des machines fixes. La surface chauffée, la production de vapeur, le tirage ne sont pas suffisants. En outre, pour obtenir l'adhérence sur les rails, sans laquelle on tournerait sur place, la roue motrice est dentée et s'appuie sur une crémaillère. La vitesse est moindre que celle d'une charrette traînée par des chevaux. Est-ce à dire que l'invention va être perdue? Le génie humain ne s'arrête par dans ses découvertes. C'est en Angleterre, le grand ingénieur George Stephenson, un ancien mineur ; c'est l'illustre Marc Seguin, parent de Montgolfier, qui complètent la locomotive. Seguin, par l'invention de ces mille tubes qui parcourent la chaudière dans sa longueur, et qui donnent passage aux gaz chauds venant de la grille, augmente dans une étonnante proportion la surface chauffée et par suite la production de vapeur. Stephenson complète les idées de son rival, et, lançant dans la cheminée, par un jet direct, la vapeur qui vient d'agir sur le piston, ravive, par cet ingénieux artifice, le tirage du foyer, gêné par l'invention de Seguin. Désormais la locomotive est complète ; comme dans la machine de Watt, on n'en modifiera plus que les détails. Voilà la véritable histoire de la houille. Voilà ce qu'a produit le combustible minéral.

« Il a fallu pour cela tout le dix-huitième siècle, et les trente premières années de celui-ci ; mais aussi quelle conquête ! La machine à vapeur, qui ne devait servir qu'à extraire des mines l'eau et le charbon s'est partout introduite ; partout elle a substitué son travail à celui de l'homme, et le mot d'Aristote s'est confirmé « qu'il n'y aurait plus d'esclaves le jour où le fuseau et la navette marcheraient seuls ».

L'emploi du charbon de terre pour le chauffage, ou comme agent de réduction dans les travaux métallurgiques, remonte à une bien plus haute antiquité qu'on ne le croit généralement. Un contemporain d'Alexandre le Grand, Tyrtane, célèbre philosophe et orateur grec, plus connu sous le nom de Théophraste, raconte que de son temps, vers l'an 326 avant Jésus-Christ, les forgerons et les fondeurs de la Grèce faisaient une importante consommation de charbons fossiles, expédiés de la Ligurie et de l'Élide. Suivant Wallis, auteur d'une histoire du Northumberland, les gisements houillers du nord de l'Angleterre furent exploités par les Romains alors qu'ils étaient en possession de cette île. On commença à ouvrir les mines du pays de Liége dès le onzième siècle, mais ce ne fut que sous Henri III, en 1272, que l'exploitation de gîtes carbonifères de Newcastle eut lieu régulièrement. On possède en outre à Saint-Étienne des documents inédits qui établissent que la houille y était employée dès le troisième siècle, cependant l'usage ne s'en répandit en France que vers l'année 1680.

M. Houzeau[1] a esquissé l'histoire de l'homme qui, le premier, conçut l'idée de tirer de la houille un gaz éclairant et qui, le premier, s'est livré à des essais pénibles et coûteux qui ont amené la réalisation d'une aussi vaste entreprise.

En l'an VII, un ingénieur des ponts et chaussées de Paris, habile chimiste, se livra à l'étude du gaz produit par la combustion du bois. Cet ingénieur était Philippe Lebon, connu dans le monde et dans sa famille sous le nom de Lebon d'Hombersin. Il était né à Brachay, département de la Haute-Marne, le 2 mai 1767.

Un jour, il remplit une fiole de verre d'une certaine quantité de sciure de bois, et la plaçant sur des charbons ardents, il étudia la fumée produite par cette incomplète calcination. Il vit que cette fumée s'enflammait au contact d'une autre flamme en jetant une vive et grande lumière. Dès ses premiers essais, il aperçut dans une même opération la carbonisation de tous les corps combustibles, la production de l'acide pyroligneux, du goudron et de la flamme qui pouvaient servir aux usages de la vie en chauffant et en éclairant. C'était toute une révolution dans l'industrie, aussi son esprit s'exaltait jusqu'à l'enthousiasme, et l'on se rappelle encore dans le village où se fit l'invention le délire de sa joie. Après divers perfectionnements, l'ingénieur Lebon transporta ses appareils dans l'hôtel Seignelay à Paris, rue Saint-Dominique-Saint-Germain, et leur donna le nom de thermolampes (qui échauffent et qui éclairent). Il établit dans ce local des ateliers pour leur construction, distribua la lumière et la chaleur dans les grands appartements, dans les cours, et dans de vastes jardins décorés de milliers de jets de lumière sous la forme de gerbes, de rosaces et de fleurs. Des ingénieurs distingués lui adressèrent des lettres de félicitations sur sa belle découverte, et un rapport officiel fait au ministre de la marine par le général Saint-Haouen déclare que les résultats avantageux qu'ont donnés les expériences de thermo-lampe du citoyen

1. *Histoire de la houille et de ses transformations*, Rouen, 1864.

Lebon ont comblé et même surpassé les espérances des amis des sciences et des arts. La Russie voulut attirer Lebon par des offres brillantes. Il répondit que sa découverte appartenait à son pays, qui seul devait profiter de ses labeurs.

Lebon finit à trente-six ans, de la façon la plus tragique. Le 2 décembre 1804, on trouva dans les Champs-Élysées son corps frappé de treize coups de couteau; et son assassin est demeuré inconnu. Lebon laissait une veuve avec un fils mineur, sans fortune, car son patrimoine avait été presque entièrement dévoré par des essais et des expériences de six années. Le gouvernement fit à la veuve une pension viagère de 1200 francs. Et les Anglais, qui, à différentes reprises, s'étaient associés aux essais industriels de notre célèbre ingénieur, s'emparèrent bientôt de ses travaux et les exploitèrent à leur profit. Ils allèrent même plus tard jusqu'à nier à notre infortuné compatriote le mérite de son invention et à faire graver sur le tombeau d'un des leurs, le nommé Windsor, qu'il était l'inventeur de l'éclairage par le gaz hydrogène.

Parmi les applications du gaz de houille, il faut citer le gonflement des ballons, exceptionnellement remplis d'hydrogène pur.

On retire le goudron de la houille.

Le goudron, a dit Wurtz[1] est une mine très riche de substances organiques qu'on peut en séparer et dont chacune constitue une indivualité distincte, une espèce à part. Si on fait le dénombrement des divers corps qu'on en a retirés jusqu'ici, on trouve qu'ils sont au nombre de quarante-trois. Toutes ces substances existent toutes formées dans le goudron, et y sont mélangées les unes dans les autres. On réussit à les séparer à l'aide de procédés que l'industrie n'a pas tardé à emprunter à la science pure.

Voici d'abord des carbures d'hydrogène. Les uns sont gazeux; d'autres sont liquides, d'autres enfin solides. Parmi, les liquides on mentionnera la *benzine*, que tout le monde connaît, le *toluène*, que Henri Sainte-Claire Deville a rencontré autrefois parmi les produits de la distillation du baume de Tolu. Voici des carbures solides : la *naphtaline* cristallisée en lames brillantes, et l'*anthracène*, dont on tire aujourd'hui un si grand parti. Dans cet autre corps, bien connu par ses propriétés antipudrides, le *phénol*, un troisième élément, l'oxygène est venu s'ajouter au carbone et à l'hydrogène. Enfin il faut se hâter de distinguer parmi tant d'autres substances que l'on pourrait énumérer comme faisant partie du goudron, l'*aniline*. Comme l'ammoniaque, l'aniline renferme de l'azote, qui y est associé au carbone et à l'hydrogène. C'est elle qui constitue la matière première la plus précieuse pour la fabrication des couleurs artificielles.

Soumis comme la houille elle-même à la distillation, le goudron donne principalement du brai gras qui reste dans l'appareil, et des huiles volatiles qui distillent à des températures différentes. Quelques-unes d'entre elles ont une densité plus faible que l'eau : ce sont les *huiles légères* du goudron; d'autres pèsent davantage, ce sont les *huiles lourdes*. Chacun de ces produits a reçu un grand nombre d'applications.

La benzine et la naphtaline ont fourni à Hoffmann, à Perkin, de Londres, et à M. Verguin, de Lyon les éléments de métamorphoses qui tiennent vraiment de la

1. Conférence à l'association française, etc., session de Clermont-Ferrand.

magie. Successivement transformées, à l'aide de réactifs fort simples, en produits de plus en plus différents de la matière première, elles ont servi à composer des couleurs artificielles, violettes, rouges, jaunes et bleues du plus grand éclat. Ni la fraîcheur et la richesse de nos plantes exotiques aux couleurs les plus variées, ni les reflets d'azur et empourprés de nos insectes, ne dépassent, en beauté, en richesse et en fraîcheur les nouvelles matières colorantes extraites de la houille. Ici l'art a égalé la nature. Avidement recherchés par nos teinturiers et nos imprimeurs sur étoffes, l'acide picrique, la rosaniline et ses composés, le violet d'aniline, la fuchsine, le violet et le bleu de Lyon, plus connus des dames françaises sous les noms de couleurs magenta, solférino, bleu mexico, sont devenus, grâce à l'habileté des fabricants, le point de départ de ventes et d'achats considérables. Le commerce de la garance, celui de la cochenille en ont été gravement atteints dans leurs intérêts. Le moyen d'appliquer ces couleurs sur les étoffes constitue à lui seul aussi une révolution dans l'art de teindre, puisque toutes les préparations préliminaires exigées par les matières colorantes extraites des végétaux et des animaux sont supprimées. On s'en fera mieux une idée par cet exemple : 100 kilogrammes de laine qui se teignent en rouge plein, nuance garance, avec 60 kilogrammes de paluds et 10 journées de travail, peuvent être teints en une heure en rouge plein, nuance fuchsine, avec 1 kilogramme du nouveau principe colorant tiré du goudron. Il faut quelques secondes et une vingtaine de grammes d'acide picrique pour teindre en beau jaune 1 kilogramme de laine. Avec la gaude, on doit consacrer encore à la teinture vingt-cinq fois plus de temps et soixante fois plus de substance tinctoriale.

L'ammoniaque est formé de un atome d'azote et de trois atomes d'hydrogène. Si cette ammoniaque perdait un atome d'hydrogène, le reste, formé d'un atome d'azote et de deux atomes d'hydrogène, ayant acquis la force de combinaison qui réside dans un atome d'hydrogène, pourrait se substituer à un atome d'hydrogène là où il en manque un. Il peut donc remplacer un atome d'hydrogène de la benzine, et le corps qui résulte de cette substitution est précisément l'aniline ou phénylamine. Ce corps existe tout formé dans le goudron de houille et l'on peut l'extraire des huiles moyennes et des huiles lourdes. Mais un chimiste russe, M. Zinin, est parvenu à le former artificiellement en réalisant par l'expérience le procédé de substitution.

Le toluène peut être transformé d'abord en un corps nitrogéné, le nitrotoluène, et puis en une base correspondante à l'aniline et qu'on nomme toluidine. Et l'on voit que cette toluédène est elle-même un dérivé de la benzine. D'abord on a converti celle-ci en toluène en lui arrachant un atome d'hydrogène et en le remplaçant par un groupe méthylique, puis on enlève un second atome d'hydrogène au groupe benzynique, qui en renfermait primitivement six, et on remplace le second atome d'hydrogène par un reste ammoniacal. Tous ces remplacements peuvent être réalisés par l'expérience.

On obtient la *rosaniline* en oxydant l'aniline, ou plutôt un mélange d'aniline et de toluidine ; car l'aniline du commerce, préparée d'une certaine manière et employée à cet usage, est un mélange de ces deux corps. L'agent oxydant qu'on emploie est l'acide arsénique, qui possède une certaine tendance à perdre de l'oxygène pour se convertir en acide arsénieux. Cet oxygène qu'il perd, lorsqu'on le

chauffe avec un mélange d'aniline et de toluidine, sert à enlever de l'hydrogène à ces derniers corps : il se forme de l'eau et de la rosaniline.

Le *bleu de Lyon* est dû à MM. Girard et de Laire. Ces chimistes distingués ont découvert une réaction qui est féconde et qui consiste à chauffer avec de l'aniline du chlorhydrate d'aniline ou d'une autre base analogue. L'aniline ou phénylamine, qu'on ajoute ainsi au chlorhydrate, se convertit en ammoniaque en gagnant un atome d'hydrogène et en perdant le groupe phényle. Celui-ci va se substituer à l'hydrogène enlevé à la seconde molécule d'aniline (phénylamine) qui est ainsi convertie en *diphénylamine*. Celle-ci n'est donc autre chose que de l'ammoniaque dans laquelle deux atomes d'hydrogène ont été remplacés par deux groupes phényliques. Si l'aniline ou phénylamine est de l'ammoniaque phénylée une seule fois, la diphénylanime est de l'aniline phénylée ou de l'ammoniaque phénylée deux fois. On parvient donc à phényler l'aniline en chauffant son chlorhydrate avec de l'aniline. On parvient de même à phényler la rosaniline en chauffant son chlorhydrate avec de l'aniline; il se dégage de l'ammoniaque, et le chlorhydrate de phényl rosaline ainsi obtenu, n'est autre chose que le bleu de Lyon de MM. Girard et de Laire. Pour les fixer sur les étoffes, on l'employait autrefois en solution alcoolique. On est parvenu depuis quelque temps à le rendre soluble dans l'eau en le traitant par l'acide sulfurique.

On parvient aussi à méthyler la rosaniline, c'est-à-dire à y introduire un ou plusieurs de ces restes que nous avons appelés méthyle. Ces restes existent dans une foule de combinaisons, entre autres dans le chlorure de méthyle. Il renferme le groupe méthylique uni à un atome de chlore. Et son analogue, l'iodure de méthyle, est liquide et renferme un groupe méthylique uni a un atome d'iode. Lorsqu'on chauffe cet iodure de méthyle avec la rosaniline, l'iode enlève de l'hydrogène à celle-ci et le groupe méthyle qui vient d'abandonner l'iode se substitue à cet hydrogène. On obtient ainsi la rosaniline triméthylée. C'est ce qu'on nomme le *violet Hoffmann*, du nom de son illustre inventeur.

Pour préparer la rosaniline triméthylée, on prépare d'abord la rosaniline, et on la méthyle ensuite. Un chimiste distinguée, M. Lauth, est parvenu à renverser pour ainsi dire cette méthode. Il a d'abord méthylé l'aniline et a oxydé ensuite cette méthylaniline par un procédé particulier. Il est parvenu ainsi à la convertir directement en rosaniline triméthylée. Le produit obtenu est le *violet de Paris*.

Mais voici de nouveaux faits concernant la rosaniline triméthylée et de nouveaux dérivés colorants de cette belle matière. Elle possède la propriété remarquable de s'unir directement au chlorure ou à l'iodure de méthyle, suivant qu'une molécule de rosaline triméthylée se combine avec une, deux, ou trois molécules de chlorure de méthyle, les combinaisons formées présentent de riches teintes d'un violet Parme, d'un vert éclatant, ou d'un violet bleu.

Beaucoup de travaux ont été entrepris dans l'espoir de convertir en matières colorantes la naphtaline, ce beau carbure d'hydrogène qui cristallise en belles lamelles brillantes et qui offre peu de valeur. Une seule de ces matières mérite d'être mentionnée ici. C'est la rosonaphtylamine qui est à la naphtaline ce que la rosaniline est à la benzine. Elle teint la soie en rose et sa solution rouge présente la plus belle fluorescence orangée.

Le *phénol* et ses congénères doivent naissance à de nombreuses et belles matières

colorantes. On connaît l'acide picrique, dérivé nitrogéné du phénol, qui est jaune, et dont la solution aqueuse est fort employée en teinture; elle communique à la soie une belle couleur jaune. L'acide rosolique est un autre dérivé du phénol. On l'obtient en chauffant ce dernier corps avec de l'acide sulfurique et de l'acide oxalique. On peut s'en servir directement, on peut aussi le transformer en une matière colorante rouge, la *coralline*.

Un proche parent du phénol c'est le corps connu sous le nom de *résorcine*, et qui se présente en beaux cristaux blancs. M. Baeyer en a tiré l'*éosine*, très riche matière colorante, qui teint la soie en rouge-rose.

Mais voici le triomphe de la science dans cette voie pleine de surprises et de merveilles : on est parvenu à former artificiellement la matière colorante rouge de la garance que Robiquet a découverte et désignée sous le nom d'*alizarine*. L'histoire de cette découverte est particulièrement instructive, et met en lumière la puissance et le rôle prépondérant de la science dans les progrès des industries modernes. L'alizarine est un corps oxygéné; sur la foi d'analyses anciennes, on avait pensé d'abord qu'elle devait se rattacher à la naphtaline et qu'elle pourrait être préparée artificiellement à l'aide de ce dernier corps. Mais un grand nombre d'essais tentés dans ce sens sont demeurés infructueux. Un jour, deux chimistes allemands, MM. Graebe et Liebermann, sont parvenus à retirer de l'alizarine, en lui enlevant tout son oxygène et en y ajoutant de l'hydrogène, non pas de la naphtaline mais de l'anthracène. C'était donc ce dernier corps qui devait être considéré comme le carbure d'hydrogène générateur de l'alizarine, et pour le convertir en cette substance il suffisait de lui enlever deux atomes d'hydrogène et d'y ajouter quatre atomes d'oxygène. C'est peu, direz-vous, et une telle transformation doit être facile à effectuer. Il n'en est rien. Elle est facile à énoncer, difficile à réaliser par l'expérience. Mais ces difficultés ont été vaincues par MM. Graebe et Liebermann, et la question théorique aussi bien que le problème expérimental ont été résolus par une intuition supérieure et une rare habileté. Il suffira de dire qu'en oxydant l'anthracène par l'acide chromique, on la convertit d'abord en un corps cristallisé en aiguilles jaunes magnifiques qu'on appelle *anthraquinone*. Cette substance renferme deux atomes d'hydrogène de moins que l'anthracène, plus deux atomes d'oxygène. Pour achever sa transformation en alizarine, il faut encore y ajouter quatre autres atomes d'oxygène. On y parvient. Ainsi obtenue par synthèse, l'alizarine est identique en tous points avec l'alizarine que l'on peut extraire de la garance[1].

Des fruits et des fleurs, la chimie n'a pas seulement imité le coloris, elle a pu dans certains cas en reproduire le parfum. Sous le nom d'essence de mirbane, le commerce de la parfumerie consomme une énorme quantité de nitro-benzine, destinée à remplacer, dans les *délices des boudoirs*, les *élixirs hygiéniques*, les *savons supérieurs* et autres produits analogues, la véritable essence d'amandes amères qu'on oublie toujours d'y mettre. Les gourmets qui sont un peu savants, reconnaissent dans le vieux fromage de Roquefort des traces d'éther caprylique découvert par M. Bouis. Avec l'acétate d'oxyde d'amyle, extrait du charbon de terre, on donne une excellente odeur de poires aux compotes préparées avec des

1. Wurtz, conférence sur les matières colorantes artificielles faite à Clermont-Ferrand, le 14 août 1876.

fruits de qualité inférieure; et le plus souvent un sorbet est à l'ananas, quand il a été arrosé d'éther butyrique; il est aux pommes, quand il contient du valériate d'oxyde d'amyle. Il en est de même des vins. On imite le bouquet du bon vin de Bourgogne avec un mélange d'éther œnanthique, d'éther valéro-amylique, d'éther butyrique et d'alcool.

Enfin, dans la fabrication du gaz d'éclairage par la calcination du charbon de terre, on retire des produits ammoniacaux volatils dont la présence dans le gaz offre de graves inconvénients. En les recueillant par des moyens convenables d'épuration, on transforme ces substances insolubles en une source de bien-être, de richesse agricole et de prospérité industrielle. Le sulfate d'ammoniaque livré à la consommation provient, en effet, en grande partie des usines à gaz; il sert à la fabrication de l'alun ammoniacal employé par les indienneurs pour la préparation de quelques-uns de leurs mordants les plus précieux. Les agriculteurs instruits en font usage comme engrais. A la dose de 100 à 200 kilogrammes par hectare, on l'a vu parfois doubler un récolte d'avoine.

L'ammoniaque est même devenue une source économique de froid.

Les services rendus par la houille sont si grands qu'une sorte de panique résulte de la pensée qu'elle pourrait un jour nous manquer.

Des études géologiques sérieuses, faites dans ces derniers temps, ont permis de déterminer d'une manière précise les limites de la plupart des bassins houillers de l'Angleterre, et démontré d'une manière indubitable que ces limites sont formées par le soulèvement des roches primitives, au delà desquelles il n'y a pas de charbons à espérer.

Comme profondeur on sait donc à quoi s'en tenir. Quant à la délimitation superficielle, il est des points qui laissent concevoir des espérances d'extension; mais l'incertitude dans laquelle on est à cet égard et les probabilités de dépenses qu'on entrevoit ne peuvent que diminuer, dans une grande mesure, la valeur de ces nouvelles richesses.

« Tous nos gisements houillers, dit M. Warington Smyth, étant donc à peu près reconnus[1] en étendue et en profondeur, examinons où nous conduit l'extraction actuelle. En considérant, par exemple, celle de 1864, et en admettant que sur une richesse totale supputée de 1600 tonnes par acre et par pied d'épaisseur (soit 13 333 tonnes par hectare et par mètre d'épaisseur) on en ait pu extraire 1300 (soit 10 833, par rapport au chiffre de 13 333, on arrive à cette conclusion que, pendant chaque jour de l'année et à chaque heure du jour et de la nuit, on a enlevé une masse de charbon de 4 acres et de 2 pieds d'épaisseur (soit 86 664 tonnes), c'est-à-dire un acre à chaque quart d'heure (21 666 tonnes). Qu'on le remarque, il n'y a là à espérer aucune reproduction de la matière; ainsi que l'a dit avec juste raison un capable écrivain, « nous prenons sans cesse « sur un capital qui ne fournit aucun intérêt annuel, et tout ce que nous prenons, « une fois transformé en lumière, en chaleur et en force, est à jamais perdu dans « l'espace ».

1. *La Houille et l'exploitation des houillères en Angleterre*, par Warington Smyth, traduit de l'anglais par Gustave Maurice. Paris, 1872.

« Comment se comportent nos districts houillers les plus connus? Accusent-ils ou n'accusent-ils pas des symptômes de changements ? Dans le Shropshire la partie ouest du bassin est épuisée, et les travaux se sont concentrés à l'est. Dans le Staffordshire, la fameuse couche Dudley aura, dans peu d'années, passé à l'état de légende. Enfin, dans le grand bassin du Nord on peut dire que chaque *royalty* est presque épuisée ; de vastes régions ont fourni tout ce qu'elles pouvaient donner, et déjà l'on s'apprête, sur plusieurs points, à quitter la terre ferme pour aller travailler sous la mer du Nord. On voit que l'épuisement rapide de certains districts et l'estimation de ce qui peut nous rester de houille ne sont pas de pures spéculations théoriques. Ce sont là, au contraire, des déductions certaines, établies en quelque sorte par poids et mesure d'après des données relevées judicieusement et avec le plus grand soin.

« Il serait inutile ici de recourir aux estimations qu'on a faites autrefois de la durée de nos bassins houillers; car, à cette époque, on était loin de prévoir l'énorme accroissement que la consommation devait prendre un jour, et d'ailleurs les données qu'on avait n'étaient ni assez nombreuses ni assez précises pour que les calculs auxquels on s'est livré eussent une approximation suffisante. Une exception toutefois doit être faite pour ceux qui sont relatifs au bassin classique de Durham et de Northumberland ; la position et le caractère des couches de ce bassin, parfaitement définis depuis longtemps, ont dû permettre de les établir avec un certain degré d'exactitude. »

Déjà, en 1846, M. Greenwell, estimant le rendement probable de chacune des couches du district dont il s'agit, calculait qu'au taux de l'extraction d'alors (10 000 000 de tonnes par an) elles seraient épuisées dans l'espace de 331 ans. Plus tard, en 1854, où l'extraction montait à 15 000 000 de tonnes par an. M. T. Y. Hull portait la durée de la houille à 365 ans, tout en faisant remarquer que cette durée descendrait à 256 ans si l'extraction venait à s'élever à 20 000 000 de tonnes. Or, depuis 1864, non-seulement ce chiffre a été atteint, mais il a été dépassé, et comme tout fait supposer que la production continuera de croître, il est évident que la durée devra être réduite dans une forte proportion.

En 1859, M. Edward Hull a essayé de calculer la masse totale de la houille restant disponible, calcul délicat, pour lequel sa position de géologue du gouvernement lui a permis de relever lui-même les coupes de plusieurs districts houillers et de s'aider des données fournies sur les autres par différentes autorités scientifiques. Mesurant la surface utile de chaque bassin et, d'autre part, calculant d'après les coupes l'épaisseur moyenne de combustible exploitable, il a obtenu pour la masse totale un chiffre auquel il a d'abord fait subir une réduction, dans le but de tenir compte des pertes produites par les phénomènes de dénudation naturelle des couches supérieures. Après cette réduction, qu'on peut regarder comme admissible, il a dû tenir compte non seulement de la houille déjà exploitée, mais encore des pertes probables auxquelles les travaux donneront lieu dans l'avenir, si bien qu'il est arrivé à un résultat définitif de 80 000 000 000 de tonnes représentant la réserve de charbon de toute l'Angleterre.

Dans cette estimation ne sont entrées que les couches situées à une profondeur ne dépassant pas 12 000 mètres, l'exploitation au delà étant considérée jusqu'ici comme impossible ; en revanche, comme il fallait avoir égard à l'extension des

gisements sous les formations récentes, la surface réelle des bassins a été comptée pour un tiers en plus.

Revenant sur ce sujet, M. Edward Hull[1] a résumé en 1873 les principaux faits connus sur le terrain houiller de la Grande-Bretagne, en utilisant les résultats de l'enquête présentés quelque temps auparavant par le Parlement anglais.

Dans la Grande-Bretagne (Angleterre, Écosse et Irlande), la richesse houillère actuellement reconnue s'élève à.	90 207	millions de tonnes.
Celle qui est recouverte par le permien et par le grès bigarré peut être estimée à.	56 273	— —
Soit en tout.	146 480	millions de tonnes.

La profondeur maxima à laquelle les exploitations sont regardées comme possibles est estimée à 2500 mètres, à cause de l'accroissement de température et des difficultés de la descente ainsi que de la ventilation.

Si l'on prenait pour base la quantité de houille exploitée en 1870, l'Angleterre en aurait encore pour environ 1260 ans.

M. Yevons arrive à de singulières conclusions relativement au chiffre de progression de la consommation. « Si, en effet, dit M. Warington, on reconnaît qu'en 20 ans, de 1840 à 1860, la production a plus que doublé, est-ce une raison pour admettre que de 1860 à 1880 elle aura doublé de nouveau et doublera ainsi à chaque période suivante d'après une progression géométrique ? En calculant sur ce pied-là, il n'est pas difficile de comprendre qu'il suffirait d'un peu plus d'un siècle pour que l'Angleterre vît tarir la principale source de sa grandeur commerciale! Les manufactures privées de leur force motrice, les hauts fourneaux éteints, les trains de chemins de fer arrêtés, la navigation à vapeur remplacée par la navigation à voiles, nos rues livrées de nouveau au triste éclairage de l'huile, nos foyers enfin complètement vides, tel serait donc le sombre tableau que nous réserverait un avenir prochain; et pouvons-nous croire à des prédictions aussi terribles?

« Bien que les chiffres relevés pour certaines années semblent, jusqu'à un certain point, donner raison aux pessimistes, nous avons lieu de croire cependant que leur opinion est basée sur un faux raisonnement, et qu'au point où en est arrivée notre production, l'augmentation ne peut plus guère être que de 2 à 3 000 000 tonnes par an; d'où nous concluons que notre situation houillère n'est pas aussi en péril qu'on veut bien le dire, et qu'en tout cas elle nous permet de reculer à deux ou trois siècles de distance la date fatale de l'épuisement de nos bassins. Mais à côté de cette question il s'en présente une autre. On se demande s'il ne se produira pas des causes capables d'augmenter les prix, et par conséquent de limiter la consommation. La position spéciale, qui fait de l'Angleterre la première nation manufacturière, dépend en grande partie du bas prix de ses charbons. Aujourd'hui les houilles de la Belgique, de la France et de la Russie ne peuvent faire entièrement concurrence aux nôtres, qui viennent, au contraire, sur les côtes du continent, et même, dans certains cas, remontent les fleuves de ces pays jusque vers leurs centres de

1. *The Coal fields of Great Britain*, 1873, 3e édition. Londres.

production. Les raisons en sont faciles à comprendre. La nature a été prodigue envers l'Angleterre, non seulement sous le rapport de la quantité, mais encore au point de vue de la régularité des couches. En France et en Belgique, les mines les plus favorisées donnent rarement plus de 45 pour 100 de gros charbons sur leur production totale, chiffre que la moyenne générale est loin d'atteindre. La position tourmentée des couches en rend l'exploitation plus difficile ; c'est ainsi que pour le boisage seul, on compte 9 deniers à 1 shelling par tonne ($0^{fr},90$ à $1^{fr},25$), tandis qu'en Angleterre cette dépense n'est en moyenne, dans beaucoup de districts, que de 2 à 3 deniers ($0^{fr},20$ à $0^{fr},30$).

« En étudiant la question des gîtes houillers, il y a une distinction à faire ; extraire du charbon passable, mais revenant à un prix élevé, à cause des difficultés de l'exploitation, ou bien produire, comme nous le faisons en Angleterre, les meilleurs charbons au plus bas prix possible, sont deux choses essentiellement différentes. Malheureusement, la plupart de nos districts les plus réputés fournissent un chiffre de production effrayant ; on se demande où seront, dans 50 ans d'ici, l'excellente houille pour foyer domestique du Nord, celle de Walsend, si connue sur le marché de Londres, celle de Duddley, celle du Wigan, dite Cannel-coal, enfin celle d'Aberdare, si estimée pour les chaudières à vapeur ? »

En France, on a observé que la production houillère avait également doublé à chaque période de 12 à 14 ans, comme le montrent les chiffres ci-dessous :

Années.	Tonnes.
1789.	250 000
1815.	950 000
1830.	1 800 000
1843.	3 700 000
1857.	7 900 000
1863.	10 000 000

En 1881 il a été extrait dans le Royaume-Uni, d'après les rapports des ingénieurs des mines, 154 184 000 tonnes de houille : c'est une augmentation de plus de 7 millions de tonnes sur 1880, de plus de 20 millions sur 1879, et de plus de 82 millions sur 1859.

Dans les quatre années qui ont suivi 1875, la production est demeurée à peu près stationnaire ; mais elle a subi ensuite un accroissement soudain, phénomène qui s'est déjà produit en 1871-1872, et antérieurement dans la période 1864-1866.

Si, remontant jusqu'en 1855, on compare la production de la houille à la population du Royaume-Uni, on remarque que de 1855 à 1865 l'extraction s'est accrue d'une tonne par habitant, et dans les dix dernières années, de trois quarts de tonne environ, pour représenter en 1881 plus de quatre tonnes et demie par tête.

Au chiffre de cette consommation (1854 millions de tonnes par an), il y aurait de quoi suffire aux besoins de l'Angleterre pendant 943 ans. Mais si l'on applique la progression des 21 dernières années (3 353 000 tonnes), cette masse de combustible serait épuisée en 250 ans.

Les remèdes qu'on entrevoit à l'épuisement de la houille sont : le lavage de la houille qui, prenant plus d'extension, permettra de tirer parti des houilles impures sur une plus grande échelle.

En outre, on arrivera à tirer parti des couches minces jusqu'ici négligées, car si, déjà aujourd'hui, on en exploite dans le Somersetshire, qui n'ont plus que 30 à 35 centimètres d'épaisseur, pourquoi regarder partout ailleurs comme inexploitables celles qui ont 60 centimètres?

Quant aux difficultés provenant de la profondeur, avec les perfectionnements qu'on apporte sans cesse aux machines d'épuisement et d'extraction, il sera toujours facile de les surmonter dans certaines limites.

Dans la formation houillère des Galles du Sud et du Lancashire, ainsi que dans le terrain de certains districts dont la surface est occupée par le grès rouge du Trias, on peut rencontrer la houille à des profondeurs de 1500, 2400 et même 3000 mètres. Suivant l'opinion des hommes compétents, l'exploitation ne serait guère possible que jusqu'à 1200 mètres, limite au delà de laquelle elle deviendrait impraticable, en raison des difficultés créées par l'accroissement de température. Cependant une longue pratique des mines profondes porte M. W. Smith à croire que cette limite n'est pas infranchissable et qu'avec des moyens convenablement combinés on pourrait vaincre la difficulté.

Des expériences faites dans les mines de différents pays ont démontré qu'à partir d'une certaine région, comprise en général entre 9 et 18 mètres, région où le thermomètre reste stationnaire, la température du sol, à mesure qu'on descend, augmente à raison de 1 degré centigrade par 30 mètres en moyenne. Si donc, les ouvriers peuvent travailler à l'aise dans les mines profondes, cela tient à ce que l'air qui arrive par le puits d'entrée refroidit les parois des excavations, et qu'à mesure qu'il circule tout en s'échauffant jusqu'au moment où il opère sa sortie, il est constamment remplacé par l'air frais venant du dehors. Mais il n'en est pas de même au début d'une exploitation, où la ventilation est imparfaite. Ouvrir alors des galeries à une profondeur de 450 à 600 mètres est un travail très pénible en raison de la chaleur qu'il faut subir. Dans ces circonstances, il n'est pas rare de voir le thermomètre s'élever devant le front de taille jusqu'à 24 et 31 degrés centigrades; mais on a remarqué que, dès qu'un courant peut être établi, il suffit de quelques semaines pour que la température baisse sensiblement. Comme exemple remarquable de refroidissement rapide, on cite celui qui eut lieu aux mines métalliques connues sous la dénomination de *Cliford amalgamated mines* (Cornouailles), dans une galerie située à une profondeur de 495 mètres, et où l'air était, en juillet 1864, de 40° C. et s'éleva jusqu'à la fin du printemps suivant à plus de 50 C.; dans une autre galerie placée un peu moins bas, à 477 mètres, le même phénomène s'est produit alors que, dans l'origine, le thermomètre marquait 20°,50 C. et s'était même élevé un an ou deux auparavant jusqu'à 38° C.

En 1851, M. Rogers, entreprenant le fonçage d'un puits à la houillère d'Abercarn, eut l'idée d'envoyer par un tuyau, jusqu'à une petite distance des ouvriers, un jet d'air comprimé qui, en se dilatant à la sortie, produisait un abaissement de température de plusieurs degrés.

Tout pourrait donc se réduire à une question de ventilation.

D'ailleurs, les machines d'épuisement et d'extraction, en se perfectionnant, pourront triompher des nouvelles difficultés qui pourraient surgir. En effet, sous ce rapport, n'est-il pas déjà possible d'entrevoir des dispositions qui permettraient, dans un puits très profond, d'établir à moitié chemin un relai de machines, de telle

sorte que l'extraction s'opérât en deux fois ? Ne pourrait-on, ainsi que l'ont déjà proposé MM. Méhu et Guibal, appliquer le système du mouvement alternatif des échelles mobiles destiné aux ouvriers, et s'en servir pour remonter d'une manière continue des wagons de charbon ?

CHAPITRE IV

L'ANTHRACITE

§ 1. CARACTÈRES PHYSIQUES DE L'ANTHRACITE

L'anthracite est une roche opaque et brillante d'un noir vitreux avec un certain éclat demi-métallique quelquefois très prononcé. Sa combustion est difficile et donne beaucoup de chaleur.

La densité varie de 1,6 à 2.

En portant sous le moufle, à une haute température, de l'anthracite du Creuzot, M. Mène a remarqué qu'il se convertissait en une masse friable, grise, assez dure pour rayer le verre et l'acier en faisant entendre le même bruit que le diamant. M. Mène a pu reproduire ce phénomène en opérant sur des anthracites de Valbonnais en Savoie et d'Abercraf dans le pays de Galles.

§ 2. COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ANTHRACITE

L'anthracite contient très peu d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, et perd très rarement plus de 8 pour 100 de son poids par une forte calcination ; il se présente, comme la houille, en bancs plus ou moins puissants, dans lesquels le combustible est mélangé, soit à peu près régulièrement, soit au contraire d'une manière tout à fait irrégulière, avec diverses matières terreuses et avec des pyrites de fer. Il brûle très difficilement avec une flamme courte et peu persistante ; la combustion ne peut être entretenue que sous l'action d'un courant d'air énergique et dans des appareils disposés de telle façon que la température soit extrêmement élevée. En brûlant dans ces conditions, l'anthracite produit plus de chaleur que le coke.

L'anthracite est très compact et peu hygrométrique ; les fragments qui n'ont pas été mouillés ne perdent pas plus de 2 pour 100 d'eau ; exposé à la pluie, ou plongé dans l'eau, l'anthracite absorbe jusqu'à 5 et 6 pour 100 de ce liquide, et ne le laisse dégager que très lentement quand il est placé à la température ordinaire dans une chambre sèche ; il faut le soumettre pendant plusieurs heures à une température supérieure à 120° pour lui enlever l'eau complètement.

Les matières terreuses qui se trouvent le plus ordinairement dans l'anthracite sont le sable quartzeux et l'argile schisteuse; le carbonate de chaux et la dolomie ne se présentent que rarement, il en est de même du fer carbonaté; au contraire, les pyrites de fer sont fréquemment très abondantes, quelquefois même en quantité telle qu'il est impossible d'employer le combustible dans la métallurgie du fer. Les cendres, résidu fixe de la combustion, sont habituellement composées de sable, d'argile, d'oxyde de fer et de silicate d'alumine.

La valeur de l'anthracite comme combustible dépend beaucoup de la proportion et de la nature des matières étrangères qui lui sont mélangées; mais elle dépend encore bien plus de la propriété de ne pas décrépiter au feu. Ce sont là les deux points principaux auxquels il faut s'attacher dans l'examen de ce combustible.

La nature, le mode de dissémination et la proportion des matières étrangères doivent être évalués sur le carreau de la mine ou dans les magasins des usines ; au laboratoire, on ne peut faire que la détermination des cendres sur un échantillon convenablement choisi.

Quant à la propriété de ne pas décrépiter au feu, on peut la constater très aisément au laboratoire, en projetant quelques morceaux de l'anthracite proposé dans un four porté au rouge blanc, dans lequel l'appel de l'air est produit par une cheminée très élevée, et en observant de temps en temps de quelle manière les morceaux se comportent. Cette première partie de l'examen étant faite, il ne reste plus qu'à déterminer la perte par calcination et la proportion des cendres. Ces deux opérations sont faites absolument comme pour la houille. La détermination du pouvoir calorifique, par fusion avec la litharge, ne présente pas un grand intérêt, parce que l'anthracite est généralement utilisée comme combustible fixe, et que, par suite, la faculté réductrice ou calorifique des produits de la distillation n'a qu'une importance secondaire. Cependant il peut être utile, dans un petit nombre de cas spéciaux, d'obtenir quelques indications à ce sujet, et alors il faut procéder à la fusion avec la litharge avec les précautions usitées pour la houille.

Voici, d'après Regnault, la composition de divers anthracites :

ANTHRACITES.	Densité.	COMPOSITION.				DÉDUCTION faite des cendres.				1000 atomes de carbone sont unis avec atomes	
		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.	Coke donné à la calcination.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Hydrogène.	Oxygène.
De Pensylvanie. . . .	1,462	90,45	2,43	2,45	4,17	89,5	94,69	2,55	2,56	329	20
Du pays de Galles . .	1,348	92,56	3,33	2,53	1,58	91,3	94,05	3,38	2,57	440	21
De la Mayenne. . .	1,367	91,98	3,92	3,16	0,94	90,9	92,85	3,96	3,19	522	26
De Ralduc.	1,343	91,45	4,18	2,12	2,25	89,1	93,56	4,28	2,16	560	1.
De La Mure	1,362	89,77	1,67	3,99	4,57	89,5	94,07	1,75	4,18	227	34
De Macot	1,919	71,49	0,92	1,12	26,47	88,9	97,23	1,25	1,52	156	12

Les essais de quelques anthracites du Piémont ont donné les résultats suivants[1] :

	Friednaz (Turin).	Le Cretaz, Le Villaret et Bosco della Goletta (Turin).
Carbone.	49,3	48,0
Matières volatiles. . .	10,1	13,0
Cendres.	36,6	39,0
	99,0	100,0

Deux échantillons d'anthracite de Ratjeinikoffsky, en Russie, ont été analysés par M. Wreden. Ils renferment :

	I.	II.
Carbone.	95,38	84,25
Hydrogène.	2,25	3,69
Oxygène et azote.	6,48	3,50
Cendres.	5,89	8,56
Totaux	100,00	100,00
Eau contenue dans la matière séchée à l'air.	4,71	2,21
Poids spécifique.	1,59	1,46
Pouvoir calorifique.	69,63	76,82

Les anthracites du bassin du Donetz ont été examinés par MM. A. Scheurer-Kestner et Ch. Meunier-Dolfus[2]. Leur analyse chimique a été faite et de plus leur chaleur de combustion a été calculée en calories pour le combustible complètement pur.

Anthracite de Grocherski :

Carbone.	91,20
Hydrogène.	1,27
Oxygène et Azote..	1,88
Cendres	1,57
Eau	4,08
	100,00

Nombre de calories : 8259.

Coke p. 100 : 91.

Nature du coke : mal aggloméré.

Composition des anthracites du bassin de Groucherka (Donetz) :

Gîtes	Matières volatiles pour 100	Cendres pour 100	Soufre pour 100
Groucherka.	5,54	3,12	3,09
Nesvitaï.	7,75	5,50	2,50

1. Jervis, *The Mineral Resource of central Italy*, 1867, p. 88.
2. Ch. Mène, *Revue hebdomadaire de chimie*, 1874, p. 204.

Composition des anthracites du bassin de Gorodistché (Donetz) :

Gisements	Carbone	Cendres	Soufre
Gorodistché	75,6	3,6	2,7
Boulatzèle	83,8	2,7	0,87

Un anthracite se trouvant à la base du terrain crétacé dans l'île de la Reine-Charlotte, est comparable pour la qualité à l'anthracite du terrain houiller de Pensylvanie. Il renferme :

Eau	1,89
Matières volatiles	4,77
Carbone	85,76
Soufre	0,89
Cendres	6,69
	100,00

Il y a quelques années, l'attention a été appelée[1] sur quelques nodules d'un anthracite remarquable par son extrême dureté. Ces nodules ont une structure en apparence concrétionnée; ils rayent aisément le verre et même des corps plus durs. Leur composition, abstraction faite des cendres, est la suivante :

Carbone	97,6
Hydrogène	0,7
Oxygène	1,7
	100,0

La densité est 1,66.

§ 3. ANALYSE IMMÉDIATE OU MINÉRALOGIQUE DE L'ANTHRACITE

Généralités. — L'anthracite proprement dit ne présente à l'œil ni les crevasses de la houille brillante, ni la stratification de la houille mate ; cependant on constate, en l'incinérant, des traces d'une structure stratifiée que mettent du reste en évidence, dans l'anthracite compact, des fragments de fusain disposés en lits parallèles au plan des couches.

L'anthracite résiste énergiquement à l'action des réactifs chimiques, même très concentrés, et il est par conséquent fort difficile d'en étudier la constitution. Cependant l'acide sulfurique concentré et bouillant l'attaque en esquilles minces, en se colorant en brun rougeâtre. Ces esquilles deviennent alors translucides sur les

1. Voyez une note de M. Dumas dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, année 1867.

bords, mais sans qu'on puisse y reconnaître de traces d'organisation. En employant le chlorate de potasse solide et l'acide azotique concentré, et en faisant intervenir la chaleur, on parvient, sur l'anthracite de Pensylvanie et de plusieurs autres provenances, à reconnaître, après traitement par l'alcool, des tissus végétaux à structure indiscutable, notamment des cellules parenchymateuses et prosenchymateuses et des corpuscules arrondis ayant l'apparence de spores. On ne saurait du reste attribuer ces indices d'organisation à des parcelles de fusain empâtées dans l'anthracite et attaquées plus facilement, car l'examen direct du fusain que renferme l'anthracite n'y a jamais fait découvrir que des restes de tissus prosenchymateux.

D'après M. Gumbel, la meilleure méthode pour attaquer l'anthracite paraît être l'incinération, déjà employée dès 1846 par Baylen et Teschemacher[1]. On reconnaît dans les cendres des cellules et des fibres végétales très bien conservées (fig. 73)



Fig. 73. — Débris à structure végétale des cendres de l'anthracite de Pensylvanie. — *a*, perpendiculaire. — *b*, parallèlement aux fibres. — D'après M. Gumbel.

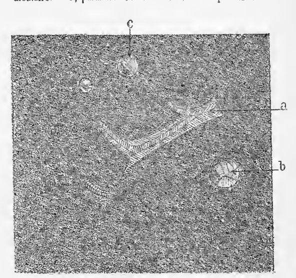


Fig. 74. — Anthracite de Pensylvanie. Grossissement de 200. — D'après M. Renault.

et, pas plus que dans la houille elle-même, on ne peut y découvrir aucun indice de déformation : les plus ligneuses ont conservé la forme cylindrique qu'elles possé-

1. *Amer. Journal of sciences and arts*, 2e série, t. I, p. 407, et t. II, p. 420.

daient à l'état vivant, sans la moindre trace d'aplatissement, ce qui contredit formellement l'hypothèse, parfois mise en avant, des transformations de la houille en anthracite par la seule influence d'une forte compression.

Plus récemment M. Renault a montré que si l'anthracite offre rarement des traces discernables d'organisation, cela vient de ce que les préparations faites dans des fragments d'anthracite de Sablé, de Lamure, n'ont pu être réduites à une épaisseur suffisamment mince pour devenir transparentes ; la masse est restée très opaque et les parties un peu plus claires n'ont présenté que des granulations irrégulières amorphes. Cependant des fragments d'anthracite provenant de Pensylvanie ont fourni, au milieu d'une masse dominante de substance jaune-brun foncé sans structure, quelques débris végétaux organisés tels que fragment de faisceau vasculaire à éléments rayés *a* (fig. 74), macrospore *b*, et quelques grains de pollen, ou des microspores *c*.

Il paraît donc résulter de cette observation que l'anthracite (fig. 74) se trouve dans un état de conservation beaucoup moins parfait que le Cannel-coal et que ce n'est que rarement et par place qu'on peut y découvrir des organes végétaux ; la houille y est plus voisine du carbone amorphe.

§ 4. GISEMENT DE L'ANTHRACITE

BASSINS FRANÇAIS

Basse Loire[1]. — Quelques parties du terrain dévonien, dans la Sarthe et la Mayenne, contiennent des couches d'anthracite.

A Sablé, on exploite une couche d'anthracite de $0^m,60$ à $0^m,80$ de puissance et se prolongeant normalement sous les calcaires carbonifères.

Plus loin, à la Bazouge, on exploite plusieurs couches d'anthracite un peu plus bitumineux, qui sont également très inclinées et dont l'allure est en chapelet ; dans les renflements, ces couches atteignent 8 et 10 mètres d'épaisseur ; ces couches ont été reconnues par M. Triger comme positivement supérieures à ce même calcaire carbonifère. Il y a donc sur ce point, dans le dévonien supérieur, au moins deux étages de couches combustibles séparées par un long intervalle de dépôts arénacés et calcaires.

Les terrains anthracites de la Sarthe et de la Mayenne forment des zones étroites qui ont été suivies sur des longueurs considérables et dont les stratifications, fortement inclinées, ont été recouvertes en plusieurs points par de véritables dépôts houillers.

Le bassin houiller de la *basse Loire* forme une zone de 500 à 1200 mètres de largeur, qui n'a pas moins de 100 kilomètres de longueur, depuis Dorée jusqu'au delà de Nort. Les parties les plus larges sont en même temps celles où les couches de houille sont nombreuses et plus puissantes, et par conséquent celles où les

1. *Géologie de la France* par Burat.

exploitations ont pu se développer. En suivant le bassin de l'est à l'ouest, on trouve :

Doué-Lafontaine : la zone houillère y est pauvre et rétrécie ; Saint-Georges-Châtelaison : la zone houillère y est large et sur plusieurs points les ploiements du terrain y forment une série de vacuoles. L'allure des couches y est irrégulière et en chapelets, de sorte que les extractions n'y ont guère dépassé 6 à 8000 tonnes par année. La qualité du charbon y est variable depuis l'anthracite jusqu'au demi-gras.

Saint-Lambert : le terrain houiller soulevé par les porphyres y est comprimé en deux V ou bassins distincts. Celui du nord contient des couches minces, mais régulières de charbons gras ; celui du sud contient des couches puissantes, mais irrégulières d'anthracite.

Les anthracites de Saint-Lambert (fosse Louis) forment une série de lentilles dont l'une, à la mine de Beaulieu, est exploitée sur 600 mètres de direction et atteint jusqu'à 20 mètres de puissance.

Les mines de Chaudefonds et de Layon-et-Loire font suite sur une direction d'environ 10 kilomètres. La première ne présente que des parties resserrées et accidentées ; mais les mines de Layon-et-Loire sont, au contraire, l'objet de travaux actifs qui ont atteint des profondeurs de 200 et 300 mètres. Un système de couches, dit du *Bocage*, a été très remarquable sur ce point, par les grandes masses de charbon qui ont été trouvées, réparties en trois couches, sur 1 kilomètre de direction.

Les mines de Chalonnes, qui occupent la partie moyenne et la plus développée du bassin de la basse Loire et dont les travaux ont été poussés à 300 et 500 mètres, ont permis d'apprécier dans tous leurs détails les allures.

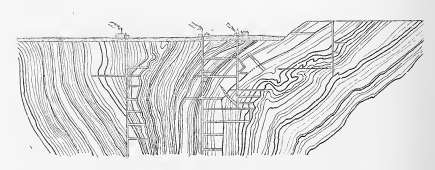


Fig. 75. — Coupe du bassin de la basse Loire à Chalonnes. — D'après M. Fagès.

Une coupe faite par M. Fagès (fig. 75) met en évidence les caractères spéciaux de ces allures en même temps que les conditions de richesse maximum du bassin.

Les charbons, lorsqu'ils sont à peu près réglés, sont de véritables demi-gras. Leur composition confirme le caractère houiller du bassin de la basse Loire, que l'on avait autrefois supposé appartenir au terrain dévonien.

D'après cette coupe, le bassin comprendrait environ quatorze couches, dont les pendages nord et sud doivent se raccorder à une plus grande profondeur.

Les mines de Montjean ont eu de belles périodes d'exploitation sur les pendages sud. Dans cette concession, qui comprend environ 6 kilomètres de direction, la zone houillère fait une courbe vers le sud en se dirigeant vers Ingrande, puis elle reprend sa direction normale.

Les concessions de Montrelais et de Mouzeil occupent 30 kilomètres de la direction de la zone qui, dans ce parcours, subit divers accidents. Sur plusieurs points le ploiement est double et présente deux bassins ou fonds de bateau distincts, séparés par le soulèvement des terrains inférieurs. Les travaux, très anciens et très étendus, ont constaté que toutes les veines du sud étaient en charbons maigres, tandis que les combles du nord étaient en charbons gras propres à la forge.

Les concessions des Touches et de Languin terminent cette zone, dont elles occupent encore 19 kilomètres, sans que l'on en connaisse réellement la limite occidentale. Ces concessions ont été l'objet de travaux importants.

A la suite d'études très persévérantes, M. le professeur Ed. Bureau est parvenu à construire la coupe du bassin de la basse Loire (fig. 76). On trouvera son travail *in extenso* dans le *Bulletin de la Société géologique de France*[1], mais nous tenons à ajouter que l'auteur a bien voulu modifier spécialement pour nous, conformément à des données qu'il a acquises postérieurement à son impression, la coupe qu'il avait donnée.

Nous emprunterons au mémoire de M. Bureau le passage suivant qui, malgré son étendue, est indispensable pour prouver l'âge du combustible exploité dans la basse Loire.

Le bassin le plus méridional, formé par les plissements du terrain silurien de la Bretagne, qui s'appuie au sud sur les terrains cristallophylliens, est parallèle aux autres plis de la région et paraît tout aussi long; car il s'étend de Beaugé-Mennau, près de Doué (Maine-et-Loire), jusque dans la partie est du département du Morbihan et probablement beaucoup au delà.

Son bord nord est formé par le silurien supérieur (n° 20 de la coupe) : schistes verts et rouges avec grès, phtanites à graphtolithes et calcaire. Mais cet étage paraît s'arrêter dans la profondeur du pli; car au sud on voit affleurer, au moins sur une étendue considérable depuis Ligné (Loire-Inférieure) jusque près de Chaudefonds (Maine-et-Loire), un grès à *Tigillites* (n° 4) ne pouvant en rien se distinguer du grès armoricain, lequel appartient à l'étage silurien moyen. Il y a cependant vers ce même bord, près du village de la Motte, commune de Bouzillé (Maine-et-Loire), un affleurement de phtanite qui semble bien déceler la présence du silurien inférieur, mais qui jusqu'ici n'a pas fourni de fossiles et devra être examiné de nouveau.

Le grès dont il s'agit forme parfois des escarpements précieux comme points de repère pour la géologie du pays. Il n'est pas disposé en une bande continue, mais il constitue des bancs ou des dépôts plus ou moins importants à la partie supérieure des schistes (n° 5) qui, eux, s'étendent d'une manière ininterrompue sur les couches les plus élevées des terrains cristallophylliens avec lesquelles ils ne présentent pas de discordance.

Ces schistes sont en général durs et à feuillets très ondulés, sauf peut-être à leur

1. 3e série, t. XII, p. 165, 1883.

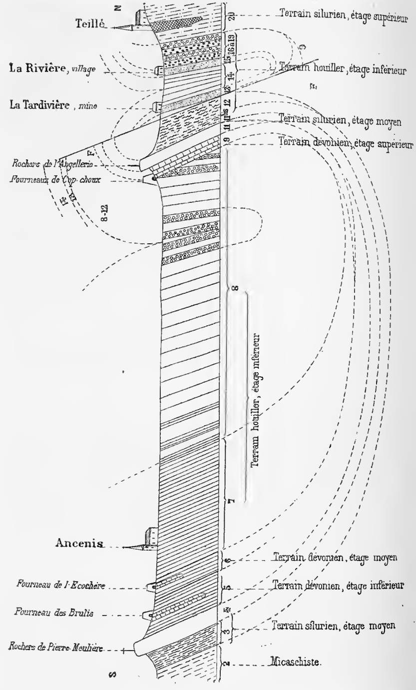


Fig. 76. — Coupe du terrain anthracifère de la basse Loire, de Teillé à Ancenis (Loire-Inférieure). D'après M. Ed. Bureau.

partie supérieure, du moins dans trois points où l'auteur a pu les voir au contact ou presque au contact des grès et les a trouvés tendres et à feuillets droits.

La liaison intime de ces schistes avec les grès à *Tigillites* ne permet pas de les placer dans un autre terrain ni même dans un autre étage.

Le bassin ainsi limité au sud et au nord renferme les trois étages du terrain dévonien et l'étage houiller inférieur. Aucun des autres plis concaves du massif breton ne contient à beaucoup près une série aussi complète de terrains primaires.

Mais ces quatre étages ne se trouvent pas dans toute la longueur du sillon : le dévonien moyen s'étend sur plus de 40 kilomètres, de l'Écochère près d'Ancenis (Loire-Inférieure) au château de la Fresnaie près de Saint-Lambert du Lattay (Maine-et-Loire), tandis que le dévonien inférieur et le dévonien supérieur ne sont connus avec certitude que sur des points limités. Quant à l'étage houiller inférieur, il déborde longuement le terrain dévonien au nord-ouest et au sud-est : il commence à Languin près de Nort (Loire-Inférieure) et se perd à Beaugé-Mennau (Maine-et-Loire) sous les terrains secondaires, s'étendant ainsi sur 107 kilomètres de longueur. A l'ouest de Languin, le sillon silurien ne contient pas de terrains primaires plus récents.

Ainsi, dans une coupe dirigée du sud au nord et passant par Languin, on ne rencontre dans la concavité du pli que l'étage houiller inférieur, ou plus exactement que la partie supérieure de cet étage, représentée par des couches de psammites, de schistes et de houille presque verticales, plongeant cependant un peu au nord et assez parallèles pour qu'il soit difficile de savoir si leur position actuelle résulte d'un plissement en V très fermé ou d'un relèvement de couches qui se seraient trouvées disposées de manière à occuper seulement un des versants du sillon silurien, lors de la formation de celui-ci.

Dans une coupe semblablement dirigée et passant par Doué (Maine-et-Loire) à l'autre extrémité du dépôt, on ne rencontre encore que le même niveau ; mais les couches du nord et celles du sud plongent en sens inverse, de manière à rendre évident le plissement du terrain houiller en forme de V.

Dans une coupe passant par Chalonnes (Maine-et-Loire) le même V se montre avec une épaisseur plus grande des mêmes couches, et, de plus, la branche sud, celle qui plonge au nord, se trouve renforcée par des dépôts plus anciens. Ce sont, en allant du sud au nord : 1° des schistes appartenant à l'étage dévonien inférieur ; 2° un calcaire marbre dévonien moyen ; 3° un grès argileux ou grauwacke, rempli d'empreintes de plantes et formant un niveau du terrain houiller inférieur immédiatement sous-jacent aux couches exploitées, qui se trouvaient seules aux deux extrémités du bassin.

Les niveaux géologiques qui remplissent le bassin silurien se montrent donc plus nombreux lorsqu'on approche du milieu de la longueur de ce bassin ; mais c'est seulement dans une coupe passant par Ancenis (Loire-Inférieure) qu'on les rencontre tous et qu'on trouve le maximum de complication dans leur disposition relative.

En ce point (voy. la figure) le bassin se trouve partagé en deux cuvettes secondaires par un relèvement des schistes ondulés (n° 11 *bis*) et des grès à *Tigillites* (n° 11). La partie nord des deux cuvettes ainsi formées a ses couches renversées, de sorte que l'ensemble de la coupe peut être comparé à un *W* italique.

La cuvette méridionale est de beaucoup la plus large. Elle contient les trois étages du terrain dévonien et la base du terrain houiller inférieur.

L'étage dévonien inférieur (nº 5) se compose de schistes qui, dans le chemin des fourneaux de Liré, présentent de nombreux fossiles : *Phacops latifrons*, *Leptæna depressa*, *Receptaculites Neptuni*, *Pleurodictyum problematicum*, etc. Plusieurs dépôts calcaires, les Brulis (Loire-Inférieure) et Liré (Maine-et-Loire), ne contenant que de rares tiges d'encrines, sont situés au milieu des schistes. On peut même voir, dans le chemin des fourneaux de Liré, que les calcaires ne forment pas des strates différentes des strates schisteuses ; il y a un simple changement dans la nature minéralogique de la roche, et chaque feuillet schisteux semble se continuer en un feuillet calcaire. Les deux dépôts sont donc bien contemporains et l'âge du calcaire ne peut être douteux.

L'étage dévonien moyen (nº 6) succède régulièrement au précédent, avec lequel il est en concordance parfaite. Il se compose aussi de schistes contenant des calcaires. Ces calcaires sont peu développés au fourneau de l'Écochère (Loire-Inférieure), où ils contiennent *Stringocephalus Burtini*; ils remplacent au contraire presque complètement les schistes dans la longue bande qui s'étend depuis Bourg-Paillon, commune du Mesnil, jusqu'au château de la Fresnaie (Maine-et-Loire). Les rares espèces de brachiopodes recueillies dans les localités les plus importantes de cette bande, Montjean et Chalonnes, ont été décrites et figurées par M. Œhlert[1]. Toutes sont nouvelles, et l'une d'elles appartient au genre *Uncites*, qui n'a été signalé jusqu'à présent que dans le dévonien moyen. Les polypiers sont assez nombreux. D'après M. Nicholson, qui a décrit les espèces nouvelles[2], leurs formes rappellent celles de l'Eifel.

Il y a lieu de faire des réserves sur l'âge du calcaire de Bouzillé (Maine-et-Loire). Sur la carte géologique, il semble être dans le prolongement du calcaire dévonien inférieur de Liré ; mais il en diffère beaucoup comme aspect. Sa couleur noire lui donne au contraire la plus grande ressemblance avec le calcaire de la bande de Montjean. M. Bureau y a trouvé quelques polypiers qui demanderont une étude spéciale.

Les étages dévonien inférieur et dévonien moyen n'affleurent que sur le bord sud de la cuvette méridionale. C'est au contraire au nord qu'il faut se transporter pour trouver l'étage dévonien supérieur qui se montre à Cop Choux (Loire-Inférieure) avec de nombreux fossiles : *Productus subaculeatus* Murch., *Spirigerina reticularis* d'Orb., *S. aspera* d'Orb., *Terebratula cuboides* Phill., *T. pugnus* Mart., *T. rhomboidea* Phill., *T. semiluna* Phill., *Spirifer glaber* Sow., *S. conoideus* Rœm., *Pentamerus globus* Bronn, etc. La mer s'est donc déplacée après le dépôt des calcaires à *Stringocephalus* et à *Uncites*; puis elle s'est retirée du bassin, pour faire place à de vastes dépôts d'eau douce.

L'étage houiller inférieur commence à Ancenis par des schistes (nº 7) d'une grande puissance, où l'on trouve des empreintes de coquilles bivalves lisses, encore indéterminées, appartenant toutes à des mollusques lamellibranches. Cette faune, si différente de celle qui précède, indique un dépôt formé dans des conditions tout autres, probablement dans une eau devenue saumâtre, sinon tout à fait douce.

1. *Annales des sciences géologiques*, t. XII.
2. *Annals and Magazine of natural History*, janvier 1881.

Évidemment une terre émergée n'était pas loin; car dans ce même dépôt on trouve des traces de végétaux terrestres. M. Bureau y a vu des Calamariées, probablement le *Bornia transitionis* Rœm., des pétioles de fougères et de petites tiges cannelées portant des feuilles verticillées qui paraissent se rapporter au genre *Cingularia*.

Au-dessus de ces schistes, qui n'existent que vers le sud, toute la cuvette méridionale est remplie par des grès argileux (nº 8) (grauwacke de Viquesnel et des autres auteurs qui ont écrit sur la région). Ces grès alternent à leur base avec les bancs de schistes les plus élevés. A différents niveaux et surtout à leur partie supérieure, ils présentent le poudingue de grauwacke que l'on voit à Ingrandes. Il présente une puissance considérable, sort de sous le lit de la Loire et s'étend de l'est à l'ouest en devenant de moins en moins important jusqu'au delà du Pont Esnault, commune de Mouzeil (Loire-Inférieure). La pâte et la plupart des noyaux sont de grauwacke; mais on y retrouve aussi des galets de micaschiste ou de gneiss, de schistes durs et ondulés, de silurien moyen, de grès à *Tigillites* du même étage, de calcaire marbre et même de porphyre quartzifère. Les couches les plus inférieures de la grauwacke sont souvent d'un rouge lie de vin; mais dans la plus grande partie du dépôt, la roche offre une teinte verdâtre se rapprochant plus ou moins du vert olive. La grauwacke, soit rouge, soit verte, est riche en végétaux fossiles: les *Stigmaria* y abondent, bien qu'on n'y trouve pas de *Sigillaria;* le *Bornia transitionis* Rœm., le *Lepidodendron Veltheimianum* Ung., sont communs par endroits; les fougères sont plus rares et appartiennent au genre *Diplothmena* de Stur (*Sphenopteris*). M. Bureau a trouvé des empreintes délicates dans des lits de grès schisteux interposés à des bancs de poudingue; mais en général les fossiles végétaux du niveau de la grauwacke sont beaucoup moins bien conservés que ceux qu'on rencontre dans l'autre cuvette à un niveau plus élevé. Les empreintes sont abondantes; mais la flore est pauvre en espèces.

La cuvette septentrionale est entièrement remplie par des couches appartenant au terrain houiller inférieur; mais ce ne sont pas les mêmes que dans la cuvette méridionale : elles sont assurément plus élevées dans la série, comme on peut s'en convaincre à Montjean et à Chalonnes, où il n'y a pas de double cuvette et où on les voit reposer directement et en stratification concordante de la grauwacke à végétaux. On peut même constater à Montjean que les premiers bancs de ce nouvel ensemble de couches qui, là, sont formés par de l'euritine (nommée dans le pays *pierre carrée*), alternent avec les derniers bancs de la grauwacke.

Dans la coupe (fig. 76), cette partie élevée de l'étage houiller inférieur, en même temps qu'elle forme un pli concave, offre une plus grande complication que sur les autres points du bassin. On y reconnaît trois systèmes de couches :

1º A la base, on voit, sur le bord sud du pli, des grès (nº 12) verdâtres ou grisâtres foncés, sans fossiles; sur le bord nord, une alternance (nº 16 à 19) de poudingue quartzeux et de poudingue de grauwacke, ce dernier offrant même une puissance plus grande. Il semble donc que les couches inférieures de cette cuvette se rattachent aux couches supérieures de la cuvette méridionale.

2º Par-dessus, se trouvent les schistes et les psammites houillers (nº 13 à 15) contenant le charbon exploité dans les concessions de Mouzeil et des Touches. Les deux bords du pli concave formé par ces roches charbonneuses dessinent sur la

carte deux bandes qui se rejoignent, d'une part à l'ouest de la Guérinière, commune des Touches, de l'autre, à l'est de la Transonnière, commune de Mésanger, après un trajet de 12 kilomètres. La plupart des exploitations ont été installées sur la bande méridionale, et c'est là surtout que les plantes fossiles ont été récoltées; mais quelques puits et des carrières à ciel ouvert ont permis d'en trouver aussi sur la bande septentrionale et de constater l'identité des espèces.

Ces psammites et ces schistes sont remplis d'empreintes de végétaux de la plus belle conservation. M. Bureau a recueilli à ce niveau, tant en ce point que dans diverses autres localités du bassin, environ cinquante formes ou espèces.

Les caractères de cette flore sont très nets : par l'absence de *Cardiopteris*, la présence de nombreux *Lepidodendrons* et de très nombreuses Sphénoptéridées, appartenant aux genres *Diplothmena* et *Calymnotheca*, elle se place non seulement bien au-dessus des flores du Roannais, du terrain de transition des Vosges et des schistes tégulaires de Moravie et de Silésie qui appartiennent au culm, tel que le définit M. Grand'Eury, mais au-dessus de celle des anthracites de la Baconnière (Mayenne) où l'on a trouvé le *Cardiopteris polymorpha* Schimp., et qui n'ont fourni aucune Lépidodendrée. Ses affinités paraissent plus étroites avec la flore de la formation de Saint-Laurs (Deux-Sèvres) et avec celle des schistes d'Ostrau et de Waldenburg (Silésie), qui appartiennent à l'étage désigné par M. Grand'Eury sous le nom de grauwacke supérieure : la majeure partie des espèces sont les mêmes, et comme dans ces deux gisements, il y a absence du genre *Cardiopteris*, propre aux couches contemporaines du calcaire carbonifère ou immédiatement postérieur à ce dépôt. Mais la flore de la basse Loire se distingue de toutes celles que nous venons d'énumérer par sa richesse plus grande en individus et en espèces de Lépidodendrées. Ce caractère le rapproche de la flore de l'étage infra-houiller, avec laquelle cependant l'abondance du *Bornia transitionis* Rœm. et du *Lepidodendron Veltheimianum* Ung., ainsi que la présence de quelques fougères anciennes; *Neuropteris antecedens* Stur., *Calymnotheca moravica* Stur., etc., ne permettent pas de la confondre.

La conclusion de M. Bureau est que la flore houillère de la basse Loire appartient à la partie la plus élevée de la Grauwacke supérieure et qu'elle a précédé immédiatement la flore infra-houillère, qui ouvre la série des flores houillères moyennes. L'étage houiller moyen ne paraît pas représenté dans la basse Loire; mais dans la Vendée on la trouve surmontant la grauwacke supérieure.

Au-dessus des schistes et des psammites, la série des dépôts de la cuvette septentrionale se termine par un grès (n° 14) très argileux sans fossiles, d'une couleur vert pâle ou vert d'eau qui le rend très facile à reconnaître.

En somme, les couches visibles dans la cuvette nord continuent la série ascendante observée dans la cuvette sud, et les plus élevées dans lesquelles on observe des fossiles, appartiennent à la partie supérieure du terrain houiller inférieur. Comment cette disposition de niveaux, qui sont régulièrement superposés et en stratification concordante dans d'autres parties du bassin, a-t-elle pu se produire? Il est probable qu'elle n'est qu'apparente et on ne voit pas que cet effet puisse être dû à une autre cause qu'à une faille qui se serait produite entre les numéros 12 et 13 de la coupe dont la lèvre sud aurait été soulevée. Dans cette hypothèse, la partie des couches 13 et 14 qui aurait pu s'étendre originairement vers le sud au-

dessus de la grauwacke à plantes (nº 8) se trouvant en saillie, aurait été entraînée, surtout lors des grands lavages du sol qui ont eu lieu pendant les époques pliocène et quaternaire et qui ont contribué à niveler la Bretagne et déterminé en partie les lits des cours d'eau actuels. L'activité des eaux aux époques dont nous venons de parler a été des plus marquées dans le bassin de la Loire. Les sables rouges que M. Vasseur rapporte pour la plupart au pliocène supérieur y couvrent des surfaces, et au-dessus même de la grande carrière de Cop-Choux ils ont une puissance considérable de 10 à 15 mètres.

Vendée. — Le bassin de la Vendée se présente sous la forme d'une zone d'environ 1 kilomètre de largeur moyenne, formée de couches fortement inclinées et appuyées contre le terrain primitif. Cette zone commence au sud par les mines de Saint-Laurs et de Faymoreau, puis se continue en longeant la forêt de Vouvant jusqu'au delà des mines d'Epagne sur une longueur de 20 kilomètres. Au delà de Vouvant, la zone houillère se perd sous les calcaires jurassiques.

Les calcaires jurassiques forment eux-mêmes une zone qui suit la même direction que les couches houillères et qui est encaissée par les mêmes schistes de transition. Cette seconde zone, superposée à la première, est plus large et la recouvre entièrement, elle continue le bassin, qui se ferme complètement à 40 kilomètres de la ligne de superposition. On resterait donc dans une complète incertitude sur l'importance de la continuité souterraine du terrain houiller, si ce terrain ne reparaissait au jour sur une longueur de plus de 10 kilomètres, près de Chantonnay. L'affleurement n'a que quelques centaines de mètres de largeur, mais il plonge visiblement sous les calcaires jurassiques, et déjà le terrain houiller a été retrouvé, par plusieurs travaux de recherche, à des distances notables de la ligne de superposition.

En reliant le terrain de Chantonnay à celui de Vouvant, on est conduit à admettre que l'importance de la partie *souterraine* du bassin de la Vendée est au moins égale à celle de la partie *découverte*. Ce bassin représenterait ainsi une même dépression comblée à deux époques géologiques différentes. Les reliefs qui encaissaient cette longue dépression sont aujourd'hui en grande partie effacés, mais la précision des lignes géologiques supplée à leur absence.

Le bassin de Vouvant et de Faymoreau avait été d'abord considéré comme présentant, sur ses deux lisières, deux pendages opposés, réunis en profondeur par un fond de bateau, tandis que les travaux souterrains ont mis en évidence une disposition différente. Les couches ont toutes leur pendage dans le même sens, au nord. Les inclinaisons deviennent de plus en plus fortes à mesure qu'on marche du sud au nord, de telle sorte que les couches supérieures sont presque verticales et appliquées contre le relèvement schisteux qui forme l'encaissement.

La base du terrain houiller est formée par des assises très puissantes de grès et de poudingues stériles, plongeant au nord sous un angle de 35 à 50 degrés. Cette partie stérile a au moins 600 mètres d'épaisseur, elle est surmontée d'alternances de grès fins et d'argile schisteuse, contenant trois systèmes de couches de houille. Le puits du sud d'Epagne a été ouvert sur la couche principale du système inférieur, plongeant de 60 degrés au nord ; le puits du nord a été ouvert sur le système moyen qui a la même inclinaison et les puits des Moteries sont placés sur le système su-

périeur, dont les couches inclinées de 80 degrés plongent sous les schistes de transition qui les surplombent. Une coupe faite par le village de Puy-de-Serre vers Faymoreau présente la même disposition, de telle sorte que la non-existence d'un fond de bateau est démontrée non seulement par les inclinaisons qui sont toutes au nord, mais encore parce que, si cette allure existait, les poudingues inférieurs qui forment plus de la moitié des dépôts devraient nécessairement reparaître sur la lisière opposée.

Mayenne. — Le petit bassin houiller de Saint-Pierre-la-Cour, près de Laval, présente un double intérêt. Il n'a pas plus de 200 hectares, mais produit quelques milliers de tonnes de houille qui ont une certaine importance dans un pays aussi dépourvu que nos départements de l'ouest; sous le rapport géologique il établit une différence complète entre le véritable terrain houiller et les grès et schistes de transition avec couches d'anthracite exploités dans la Mayenne, auxquels il est superposé. Il existe dans le bassin de Saint-Pierre-la-Cour plusieurs petites couches de houille de $0^m,50$ à $0^m,60$ de puissance.

Gard. — Dans l'étage inférieur stérile du système inférieur du bassin houiller d'Alais, la houille ne se montre qu'à l'état d'anthracite, en rognons ou en couches excessivement minces. Nous citerons comme exemple, dans le bassin septentrional, les affleurements du mas de l'Hôpital, près Bardezac, et ceux du hameau de Martrimas (Ardèche). Il est infiniment probable aussi que les recherches qui ont été faites dans les pinèdes de Bardezac et qui, à l'origine, offraient de si belles espérances, évanouies en grande partie aujourd'hui, sont également situées dans ce même étage stérile.

Dans l'îlot d'Olympie, on exploite une couche de houille anthraciteuse qui a presque 1 mètre d'épaisseur.

L'étage inférieur renferme du minerai de fer assez abondant. On le rencontre à deux états : sous forme de schiste rouge argilo-talqueux et de rognons de fer carbonaté lithoïde (sidérose).

Le conglomérat houiller est aussi le gîte principal des paillettes d'or que roulent le Gardon d'Alais, la Cèze et surtout la rivière de Gagnière.

Var. — Le terrain houiller forme une zone longue et étroite, depuis Toulon jusqu'au massif de l'Esterel.

On a fait des travaux auxquels on n'a pas donné suite, vu la qualité anthraciteuse et l'irrégularité des charbons.

Aude. — Le bassin de Ségure, près Tuchau (Aude), est à découvert sur une longueur d'environ 4 kilomètres. Il contient plusieurs couches de houille anthraciteuse dont l'ensemble représente sur certains points environ 10 mètres de puissance. Malheureusement cette houille, très impure, ne peut être employée que pour les consommations locales.

Ce terrain houiller est très accidenté par des typhons et des dykes porphyriques contre lesquels les travaux souterrains sont venus buter, et qui en plusieurs points forment au jour des saillies prononcées.

Hérault. — Les concessions de Castanet et Saint-Geniès, à l'extrémité occidentale du bassin de Graissessac, ne renferment que des couches anthraciteuses. On y extrait par année 10 000 tonnes consacrées aux usages de chaufournerie. La couche dans laquelle sont ouverts des travaux d'exploitation a une puissance normale de 3 mètres ; mais, sur quelques points, elle présente des renflements qui ont eu jusqu'à 15 mètres d'épaisseur. Ces couches anthraciteuses représentent évidemment, comme d'habitude, l'étage inférieur du terrain houiller.

Isère. — On connaît à La Mure un important gisement d'anthracite qui a été de la part de M. Roger l'objet d'une sérieuse étude[1]. On y distingue trois terrains superposés : 1° terrain cristallisé, composé de schistes talqueux apparaissant sur une étendue totale d'environ 12 kilomètres carrés ; — 2° grès à anthracite se montrant à découvert sur 21 kilomètres carrés ; — 3° terrain du lias, composés d'une série d'assises de calcaires compacts ou schisteux, plus ou moins argileux ; l'épaisseur totale de ce terrain est considérable. Il recouvre les grès à anthracite et on trouve ordinairement à sa base une petite assise de grès et de conglomérats grossiers, qui se distinguent des grès à anthracite par leur aspect et par leur structure et ne renferment aucun gîte de charbon. Ces grès formant la base des calcaires, et désignés sous le nom de grès du lias, n'ont jamais qu'une faible épaisseur, 25 à 30 mètres au plus, et généralement beaucoup moins.

Ces trois terrains sont constamment distincts et superposés dans l'ordre où nous venons de les énumérer. Leurs couches sont, en général, fortement inclinées et souvent contournées d'une manière très compliquée, particulièrement celles des grès à anthracite. Il résulte de ces contournements que dans les exploitations une même galerie rencontre souvent plusieurs fois la même couche de charbon repliée en zigzags, et que ces replis multipliés peuvent faire croire au premier abord à l'existence d'un nombre de couches bien plus grand qu'il n'y en a réellement.

Toutes les couches d'anthracite exploitées paraissent se réduire en définitive à cinq couches distinctes, sensiblement parallèles ; savoir, en commençant par la plus élevée :

1° Une petite couche d'environ $0^m,50$ à $0^m,60$ de puissance qui n'est connue que sur un très petit nombre de points ; elle n'est séparée de la seconde couche que par une assise de grès de 8 à 10 mètres d'épaisseur ; quelquefois même elle paraît s'y réunir ;

2° Une couche d'anthracite qui paraît être la principale du bassin (grande couche). Sa puissance est en moyenne de 6 à 7 mètres et s'élève parfois à 12 ou 15 mètres ; ses différents replis sont exploités sous divers noms dans les concessions du Peychagnard, de la Grande-Draye et de Comberamis ;

3° La couche de combustible, dite Henriette, qui a 1 mètre environ de puissance moyenne ; elle est à une distance de 50 mètres de la grande couche ;

4° La couche dite du Bois de Bataille, qui est habituellement séparée en trois veines par des bancs de grès intercalés ; son épaisseur moyenne est en tout de 2 mètres environ et de $1^m,50$, en ne tenant compte que du charbon. L'épaisseur du grès qui la sépare de la couche Henriette varie de 25 à 40 mètres ;

5° Une couche qui est distante ordinairement de la couche 4° de 20 à 25 mètres ; son épaisseur est d'environ $0^m,60$; elle est généralement considérée comme inexploitable.

1. *Annales des Mines*, 5e série, t. VII.

Au-dessous de ce système de couches, jusqu'aux schistes talqueux, on ne rencontre que des grès extrêmement durs dont l'épaisseur totale s'élève ordinairement à 150 mètres environ.

Comme on voit, l'ensemble des couches du terrain des grès à anthracite présente une épaisseur totale de 250 à 300 mètres.

La direction de ces couches est presque constamment comprise entre le nord vrai et le nord 16 à 17° est, en moyenne environ N. 8° E. Elle est sensiblement parallèle à la direction générale des crêtes et des principales vallées de la contrée (vallée de la Mure; gorge du Drac, de Savel à Saint-Georges de Commiers, alignement des sommets de Seneppe, de Vaux et de Conex, etc.). Le pendage des couches de grès et de charbon est tantôt vers l'est, tantôt vers l'ouest; mais le pendage ouest est de beaucoup le plus développé; c'est dans ce sens que les *nappes* des couches sont le plus étendues. L'inclinaison la plus habituelle des couches est de 35 à 45° à l'horizon; quelquefois elles sont tout à fait verticales; elles ne sont horizontales que dans le passage ordinairement très brusque d'un pendage au pendage inverse dans les plis successifs. Ajoutons que les axes des plis sont presque constamment inclinés vers le nord d'environ 6°. Beaucoup plus rarement ces lignes de flexion inclinent au sud. Dans les points où les deux inclinaisons opposées se rencontrent, ou pour mieux dire se succèdent, les couches, infléchies alors dans tous les sens, affectent la forme de fond de bateau, ayant leur connexité tournée soit vers le haut, soit vers le bas.

Fig. 77. — Mine d'anthracite du Peychagnard (Isère). — D'après M. Roger.

La figure 77 représente les replis reconnus ou présumables des couches 1, 2 (grande couche), 3, 4 et 5. On a marqué en traits pleins les parties reconnues des couches et en pointillé les portions présumées. On remarquera combien les accidents de ces couches sont brusques.

Haute-Savoie. — De l'anthracite, dérivant manifestement du métamorphisme de la houille, se rencontre dans une foule de localités des Alpes. Nous nous bornons à signaler dans la Haute-Savoie, à cause de la netteté des empreintes végétales qu'on y recueille, le point représenté fig. 78 et qui, très voisin du col d'Anterne, est connu sous le nom de la Moëd.

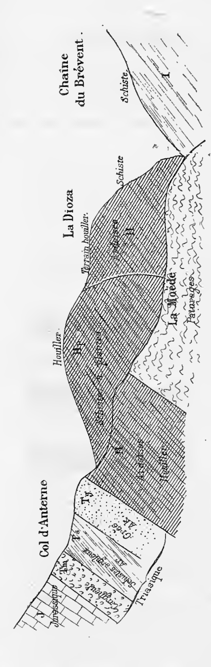


Fig. 78. — Terrain houiller de la Moëd. — D'après M. Alph. Favre.

BASSINS D'EUROPE

SUISSE.

En Suisse le gisement de l'anthracite est le même que dans la Haute-Savoie. La

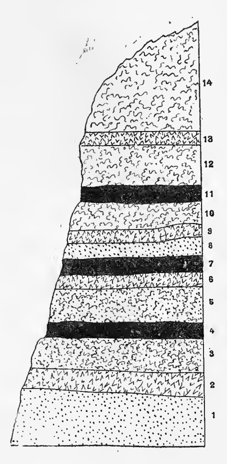


Fig. 79. — Gîte d'anthracite du col du Chardonnet (Valais). — 1, grès; 2, roche feldspathique; 3, grès; 4, anthracite; 5, grès passant au quartzite; 6, roche feldspathique; 7, anthracite graphiteux; 8, grès passant au quartzite complet; 9, roche feldspathique; 10, quartz en roche; 11, schiste anthracifère; 12, quartz; 13, roche feldspathique; 14, quartz compact.

figure 79 montre comment, au col du Chardonnet (Valais), le combustible, en couches sensiblement horizontales, alterne avec des roches variées.

RUSSIE

La plus grande partie de l'approvisionnement de charbon de la Russie méridionale vient du district de Donetz. La quantité totale obtenue en 1882 a été d'environ 1 000 000 de tonnes de charbon bitumineux et de 600 000 tonnes d'anthracite.

L'anthracite a été découvert en 1875, dans le nord de la Russie, sur la côte du lac Onéga. Après avoir perdu quelque temps dans les expériences, le gouvernement russe a entrepris l'exploitation de ces mines. On vend ce combustible en briquettes de deux sortes, dont l'une se compose de 7 pour 100 de bitume, 25 pour 100 de charbon et 68 pour 100 d'anthracite. La deuxième se compose presque à parties égales de tourbe et d'anthracite, avec une petite portion de bitume.

La *Société technique russe*, dans son rapport sur cet anthracite, dit que le gisement se trouve à 32 mètres au-dessous de la surface du sol et qu'il a 3m,50 d'épaisseur; plus bas il y a trois autres couches, ayant presque la même épaisseur. Plusieurs puits ont été foncés sur la couche supérieure.

Dans le bassin du Donetz se trouve, sur le cours supérieur des rivières Longentchik et Bélaïa, le bassin secondaire de Garodistché. Il contient plusieurs couches d'anthracite dirigées de l'est à l'ouest et inclinées vers le nord.

Le bassin de Groucherka occupe la partie S.-E. du bassin de Donetz, le long des rivières Groucherka, Kadamorka, Nesvitaï; il a la forme d'une demi-ellipse; sa partie orientale est recouverte par des formations plus récentes, au milieu desquelles on voit apparaître cependant quelques îlots de terrain carbonifère avec des couches d'anthracite, par exemple près du village de Zolotovskaïa. Dans le bassin de Groucherka se trouvent 26 couches d'anthracite qu'on peut répartir en deux étages : l'étage supérieur, ou de Groucherka, et l'étage inférieur ou de Nesvitaï. Les couches de celui-ci sont peu puissantes et peu exploitées. L'étage de Groucherka contient 4 couches d'une allure régulière et formant l'objet principal de l'exploitation.

BASSINS D'AMÉRIQUE

PENSYLVANIE

Dans le gisement d'anthracite de Pottsville, situé dans l'extrême sud, et qui est le plus profond, l'existence de 25 couches exploitables semblerait avoir été démontrée, tandis que d'autres points n'en accuseraient que 10 à 12, en sorte que, malgré une épaisseur maxima reconnue de 62 mètres, on ne pourrait guère compter que sur une moyenne de 21 mètres.

Quelques-unes des couches inférieures d'anthracite atteignent exceptionnellement une épaisseur de 12 mètres; mais ce phénomène n'est dû probablement qu'à une disparition toute locale des schistes et des grès qui, partout ailleurs, séparent les couches les unes des autres. La mine Lehigh-Summint en fournit un curieux exemple; on trouve là, en effet, une magnifique couche accusant 15 mètres, sur lesquels il y en a 9 d'excellent combustible.

Chili. — Un rapport de M. Arnal, ingénieur des mines français, raconte la découverte qui a été faite, en 1874, d'une importante mine de houille anthraciteuse située dans l'extrême sud de la Patagonie, presqu'île de Brunswick, détroit de Magellan, au lieu appelé *Vaqueria del capitan Corey*, non loin de la colonie chilienne de Punta-Chenas, par 53° 9′40″ latitude sud et 73°13′46,′ longitude ouest.

Cette propriété, concédée par le gouvernement chilien à trois explorateurs français, a une superficie de 975 hectares.

Les couches de charbon que l'on a pu étudier sont au nombre de trois, dans la direction de l'est-ouest, avec une légère inclinaison vers le nord.

L'altitude de la couche inférieure par rapport au niveau de la mer est d'environ 75 mètres; la puissance apparente de cette première couche est de 2 mètres au minimum, celle de la deuxième couche est de $1^m,80$ à 2 mètres; son altitude est de 50 mètres supérieure à la première. La troisième couche est de 40 mètres plus élevée que la deuxième; sa puissance est d'environ 5 mètres, divisée en trois veines à peu près d'égale épaisseur, et séparées les unes des autres par des schistes tendres, d'une épaisseur moyenne de 20 à 30 centimètres.

A 6000 mètres environ des premiers bien explorés, dans un profond ravin, le charbon apparaît en une couche d'une puissance uniforme de 14 à 15 mètres, divisée en cinq veines, séparées entre elles par des schistes.

La masse de charbon contenue dans les trois couches apparentes a été évaluée à 78 000 000 de mètres cubes. En prêtant au mètre cube le poids de 1500 kilogrammes, on arrive au chiffre de 117 000 000 de tonneaux métriques comme minimum.

La mine est située entre le détroit de Magellan et une mer intérieure, ou vaste baie, désignée sur les cartes marines françaises et anglaises sous le nom de Olway-Water. La distance de la mine à cette baie est d'environ 6 kilomètres, et la distance du détroit de 17 kilomètres. Cette nouvelle mine a reçu le nom de *Mina-Rica* (mine riche).

CHAPITRE V

LE GRAPHITE

§ 1. CARACTÈRES PHYSIQUES DU GRAPHITE

Le trait commun du graphite et du diamant est de consister en carbone à peu près pur. Au point de vue physique ils contrastent profondément.

Le graphite et le diamant diffèrent l'un de l'autre par leur texture, leur couleur, leur densité et le système cristallin auquel ils appartiennent. Ils diffèrent encore par leur composition; car le diamant est du carbone pur, tandis que le graphite renferme constamment des petites quantités de matières volatiles.

Le graphite cristallise dans le système hexagonal, ce qui le distingue du diamant qui est cubique.

Le graphite diffère complètement de l'anthracite par son aspect et par ses propriétés, et ne peut jamais être employé comme combustible. Il est gris métallique, doux au toucher, ne s'écrase pas facilement sous le pilon; il brûle difficilement et sans aucune flamme, et contient à peine deux ou trois centièmes d'eau hygrométrique et de matières volatiles. Il est presque toujours intimement mélangé avec de l'argile et avec du peroxyde de fer, presque jamais il ne contient de pyrites.

On produit artificiellement du graphite par le refroidissement des fontes de fer très carburées ou en décomposant le gaz d'éclairage par la chaleur; c'est alors le charbon de cornue. On a obtenu un produit analogue en carbonisant le diamant.

C'est ainsi qu'en 1870, MM. Laurier, joailliers de Marseille, ayant à émailler le support en or de deux diamants d'un grand prix servant de boutons de chemise, crurent que le diamant soustrait à l'influence de l'air et chauffé dans un moufle ne serait point attaqué à la température relativement assez basse, suffisante pour exécuter l'opération de l'émaillage. Quelle ne fut pas leur surprise en s'apercevant que la surface du diamant s'était couverte de taches noirâtres, semblant provenir de ce que le charbon dans lequel il avait été enfermé s'était soudé à la surface! Passé à la meule, le diamant reprit son éclat primitif. L'altération n'avait été que superficielle.

M. Morren, consulté, choisit des diamants de belle eau et de taille régulière, qu'il fit chauffer et qu'il soumit à l'action de l'air pendant un temps très court. Puis il examina le diamant qui avait subi cette opération avec un microscope grossissant 360 fois.

Le physicien de Marseille aperçut sur les faces polies de la pierre de nombreuses petites facettes produites par l'apparition de triangles équilatéraux. Ces triangles appartiennent à des octaèdres juxtaposés et orientés avec précision, de manière à envoyer à l'œil le reflet de toutes les faces triangulaires homologues. Lorsque l'action est exercée sur des diamants à facettes courbes, propres à couper le verre, les facettes se réunissent de manière à former de longs filaments affectant la forme de véritables arabesques. En examinant ces filaments avec un pouvoir grossissant considérable, on voit qu'ils sont formés de facettes triangulaires semblables à celles qui se montrent isolées dans les autres parties de la surface. La seule différence est que ces prismes sont fortement serrés les uns contre les autres. Même avec le grossissement ordinaire, il est déjà facile de voir que ces longs prismes sont terminés par des facettes triangulaires équilatérales. On peut comparer cette étonnante propriété à celle qui distingue certaines substances recevant des cicatrices cristallisées quand on les dissout lentement dans les acides.

§ 2. COMPOSITION CHIMIQUE DU GRAPHITE

Au laboratoire, on peut seulement déterminer la proportion des cendres du graphite et leur composition.

Il est bon d'observer que l'incinération ne suffit pas pour faire connaître la proportion de carbone réellement contenue dans un échantillon proposé, parce que l'argile et l'oxyde de fer, mélangés avec le graphite, contiennent ou peuvent contenir de l'eau hygrométrique et combinée. Il faut déterminer la perte par calcination; on obtient approximativement la proportion du carbone en retranchant le poids des cendres du poids du résidu fixe de la calcination.

Un échantillon de Borrowdale (Angleterre) renfermait :

Carbone	94,0
Chaux }	6,0
Alumine }	
	100,0

Mais le graphite peut renfermer beaucoup d'impuretés de nature minérale.

M. S. Kern[1] a analysé deux échantillons du graphite provenant de la mine Stepanowsky, en Sibérie :

	1.	2.
Carbone	36,06	33,20
Silice	37,72	43,20
Sexquioxyde de fer	4,02	3,05
Alumine	17,80	15,42
Chaux et Magnésie	1,20	1,06
Matières volatiles	3,20	4,03
Soufre	traces	0,04
	100,00	10,000

1 *Jahresbericht für Chemie*, fév 1875, p. 1193.

§ 3. ANALYSE MINÉRALOGIQUE DU GRAPHITE

M. Gumbel a examiné des échantillons de graphite provenant des calcaires cristallins des gneiss des environs de Passau ou des phyllites de Wunsiedel et isolés par l'acide chlorhydrique. Il n'a pu y reconnaître que des systèmes de stries plus clairs divisant les lamelles de graphite en petites plages diversement orientées.

§ 4. GISEMENT DU GRAPHITE

Le graphite se trouve dans des roches cristallines, telles que le gneiss, le micaschiste, le calcaire blanc saccharoïde, le granit et les schistes argileux. Il est en rognons, en lamelles, en veines ou en lits peu étendus.

Angleterre. — Les gisements les plus connus sont ceux de Borrowdale et de Keswick, dans le Cumberland, en Angleterre. Les mines y sont cependant presque épuisées. Au seizième et au dix-septième siècle elles donnaient par an un bénéfice net de 1 000 000 de francs.

Allemagne et Autriche. — En Allemagne et en Autriche on trouve le graphite à Passau, à Schwarzbach et à Mugran, en Bohême, et en différents points de la Moravie, de la Basse-Autriche et de la Styrie.

Grèce. — Un dépôt assez abondant de houille a été découvert en Grèce, à Dronesta. Dronesta est situé à 180 kilomètres sud de Salonique, dans des montagnes qui se séparent du sud du mont Olympe pour aboutir à la baie de Kitros, dans le golfe de Salonique. La couche de charbon est d'environ $2^m,40$ d'épaisseur; elle s'étend sur 91 hectares, mais tout porte à croire que l'étendue du gisement est beaucoup plus considérable.

Ce charbon est comparable au charbon d'Écosse. Il diffère des charbons anglais par sa facile altération à l'air, mais il se conserve sans se détériorer dans les magasins.

Russie et Sibérie. — Dans la Russie d'Europe, le graphite se trouve en couches puissantes au milieu des schistes graphiteux, sur la rive gauche de l'Ingouletz, près du ravin de Tcheronnaïa, non loin de Krivoï-Rogue. Dans le ravin même, M. Paul a fait un sondage au moyen duquel on a retiré, de la profondeur de 17 mètres, du graphite de très bonne qualité. Un autre gisement de graphite a été découvert par M. Paul à Mironovka, près du village de Petrovo, au bord de l'Ingouletz, à 40 kilomètres en amont du précédent, dans le district d'Alexandrovosk (gouvernement de Kherson).

Là se trouvent trois couches de graphite qui n'ont pas une grande puissance,

mais qui sont d'une bonne qualité, surtout pour la fabrication des creusets. Les meilleurs échantillons de ce graphite, d'après les analyses de M. Berlsten, professeur à l'Institut technologique de Saint-Pétersbourg, contiennent jusqu'à 28 pour 100 de carbone.

Le long de la rivière Geltaïa, dans la propriété nommée Kamtchaka, on a aussi trouvé du graphite, mais de qualité médiocre.

On connaît encore le graphite en plusieurs endroits, par exemple dans l'île de Pouso, près de Pitkaranda, sur le lac Ladoga.

On a trouvé des morceaux de graphite pur dans des alluvions à 6 kilomètres du village d'Allassarga, situé à 30 kilomètres nord-est de Serdobole (gouvernement d'Olonetz).

On connaît un gisement de graphite dans le district de Slatoouste, près de la ville du même nom; on le voit affleurer sur les deux rives du bassin de l'usine, dans des schistes micacés et argilo-micacés, sous forme d'une couche de 0m,80 d'épaisseur.

Dans le district de l'usine de Miask, sur les bords du lac Elantchak, on trouve le graphite dans les mêmes conditions. Dans les environs de ce lac, on rencontre quelquefois du graphite de très bonne qualité, en forme de blocs pesant jusqu'à 12 kilogrammes.

D'autres couches de houille existent sur le territoire russe, près de Mariapol. Elles se prolongent dans le district compris entre le Dniéper et la Crimée.

La Russie possède en Sibérie des mines de graphite importantes. Elles se trouvent à Iénisséi, et principalement dans la Sibérie Orientale près d'Irkoutsk, dans les monts Batougol, où elles ont été découvertes en 1847, par un Français, M. Alibert.

Turkestan russe. — Des deux gisements de graphite du Turkestan, l'un se trouve aux environs de Serguiopol (voy. la carte page 87) et l'autre dans la région de Kouldja.

Ce dernier est situé à 10 kilomètres à l'est du lac de Saïramnor, dans la vallée de l'un des affluents supérieurs du Kizimtchik. Les roches qui contiennent le graphite se rapportent probablement au terrain carbonifère et se composent de grès schisteux durs et micacés qui alternent avec des schistes argileux verdâtres. Les schistes contiennent trois couches de graphite dont l'épaisseur totale atteint 1m,50 (les plus puissants à 0m,80). Il y a en outre quelques autres couches plus minces. Quoique le graphite soit entièrement pur, il est si finement schisteux qu'il est impossible d'en extraire un morceau d'un pouce d'épaisseur. Aussi l'exploite-t-on sous forme de poudre.

Le gîte occupe un espace de 3 kilomètres carrés, mais la quantité de graphite ne dépasse pas 1 500 000 tonnes. Le gisement est situé à 2500 mètres d'altitude à 10 kilomètres de la route. Aux environs il y a beaucoup d'eau et une forêt de conifères.

Quant au gîte de graphite des environs de Serguiopol, il se distingue par des proportions plus grandes; il est situé dans une localité d'un accès facile[1].

1. J. Mouchkétoff, *les Richesses minérales du Turkestan russe*, p. 12, 1878.

Ceylan. — L'île de Ceylan fournit aussi d'excellent graphite.

États-Unis. — On en trouve de forts gisements dans l'Amérique du Nord, à Sturbridge, dans le Massaehusetts, à Frieouderaza, dans l'État de New-Jersey, et à Frishkill, dans eelui de New-York.

On a découvert aussi des gisements de graphite en Californie; la plus importante mine est l'Eweka Blaek Lead Miue, près de Senwa. La eouehe de graphite y a une épaisseur de 6 à 10 mètres; le minerai est si pur qu'on se eontente de le briser en gros fragments; on l'expédie sans lui faire subir de préparation. En 1868, ee gisement fournissait 20 000 quintaux par mois.

Ce graphite naturel eontient généralement une certaine quantité d'éléments minéraux, prineipalement de l'oxyde de fer et de la siliee.

Canada. — Le graphite, eonnu au Canada dans le terrain de gneiss et assoeié à des eouehes ealeaires, est exploité dans les eantons de Buckingham et de Loehaber. Il s'y trouve sur de nombreux points en quantités eonsidérables et à l'état très eristallin, mais mélangé à des matières pierreuses dont on ne peut le séparer que par un traitement mécanique.

Vénézuéla. — Beaueoup de graphite existe dans le Vénézuéla; il est mélangé de substance sehisteuse.

RÉSUMÉ SUR LE GISEMENT DES COMBUSTIBLES

Les roehes eharbonneuses spéeiales aux terrains granitique et strato-eristallin sont le diamant et le graphite.

Le graphite proprement dit a son gisement dans le terrain strato-cristallin, qui s'est déposé lorsque les végétaux n'existaient pas eneore à la surfaee du globe.

Ces terrains renferment aussi, eomme tous eeux qui entrent dans la composition de l'éeoree terrestre, des hydrocarbures. Quelquefois le quartz du granit présente lui-même des traees de ees substanees.

Certaines variétés de quartz ont une odeur empyreumatique que l'on explique par le mélange intime dans leur masse d'une matière bitumineuse; d'autres sont eriblées de eavités très petites eontenant divers liquides dont on a pu constater la nature oléagineuse (*Brewsterline*).

En s'élevant dans la série des terrains sédimentaires, on voit quelques roehes prendre une nuance noirâtre et se pénétrer de earbone, eomme les schistes ampélitiques, ou de matières bitumineuses ayant pu avoir une origine organique à dater du moment où les êtres organisés ont eommencé à habiter la surfaee du globe.

C'est au terrain silurien qu'il faut rattaeher les amas de combustibles fossiles les plus aneiens que l'on eonnaisse. Ces amas existent notamment en Portugal et en Bohême; le eombustible y est à l'état d'anthraeite, ainsi que dans les gisements de la Loire-Inférieure qui appartiennent au terrain dévonien et dans eeux du département de la Loire et de la Sarthe qui dépendent du terrain carbonifère.

On peut dire que la période trilobitique est celle de l'anthracite. Pourtant le combustible placé à la partie inférieure de certains bassins houillers offre quelquefois le caractère d'anthracite. Il en est de même pour le combustible qui existe dans les Alpes et les Alleghanys. Le combustible du massif alpin est, en effet, anthraciteux et les strates où il a son gisement appartiennent bien au terrain houiller. Quand on s'éloigne des Alpes pour se rapprocher du centre de la France, on voit le combustible prendre le caractère de la houille.

D'après M. Marcou, les petits bassins de Massachusetts et de Pensylvanie placés dans l'intérieur de la chaîne des Alleghanys ne renferment que de l'anthracite, bien qu'ils appartiennent à la période houillère. Mais à mesure que l'on s'avance vers l'ouest, et que, par conséquent, on s'éloigne des régions présentant des roches éruptives, l'anthracite devient un peu bitumineux, passe ensuite à de la houille demi-bitumineuse, et lorsqu'on a traversé la dernière grande chaîne des Alleghanys, on est dans la houille bitumineuse proprement dite qui forme l'immense bassin s'étendant jusque dans l'Alabama.

Les gisements d'anthracite des Alpes et de la partie inférieure du terrain houiller pourraient bien correspondre aux dernières assises du terrain trilobitique.

C'est pendant la seule période houillère que la houille véritable s'est formée.

Toutes les formations comprises entre les terrains permien et miocène inclusivement renferment des gisements de lignite et ne possèdent pas d'autre combustible que celui-là.

Dans le terrain pliocène se trouvent également des dépôts de combustible; mais le ligneux, du moins pour les dépôts actuellement émergés, n'y a encore subi qu'une transformation incomplète.

La tourbe est spéciale à l'époque moderne.

CHAPITRE VI

LE NAPHTOSCHISTE

§ 1. CARACTÈRES PHYSIQUES DU NAPHTOSCHISTE

Le naphtoschiste est une roche feuilletée noirâtre, grisâtre ou blanchâtre, à base de silicate d'alumine et assez imprégnée de matières organiques pour brûler avec facilité. Elle dégage alors une odeur bitumineuse.

Sa densité varie de 1,1 à 1,5.

§ 2. COMPOSITION CHIMIQUE DU NAPHTOSCHISTE

D'après M. Dumas, le naptoschiste de Vouvant, en Vendée, renferme :

Cendres	61,6
Carbone	7,7
Matières volatiles au rouge sombre	3,2
Huiles	14,5
Eau	3,2
Gaz (par différence)	9,8
	100,00

M. Joffre[1] a déterminé la composition du schiste de Buxière-la-Grue (Allier) ; abstraction faite de 59 0/0 de cendres, elle est la suivante :

Carbone	70,34
Hydrogène	9,24
Oxygène et azote	20,42
	100,00

1. *Bulletin de la Société chimique*, juin 1873.

Si on la compare à la composition des houilles ordinaires, on voit de suite que l'hydrogène y est en proportion prédominante, de même que dans le schiste d'Écosse appelé boghead.

Le même chimiste a analysé des schistes bitumineux exploités en Écosse[1].

Le Lanarkshirecoal contient, outre 1,63 pour 100 de cendres :

Charbon	72,79
Hydrogène	8,40
Azote et oxygène	18,81
	100,00

Le Rigsidecoal donne 15 pour 100 de cendres. Il renferme en outre :

Carbone	70,04
Hydrogène	7,09
Azote et oxygène	22,87
	100,00

Le Boghead fournit 25 pour 100 de cendres, abstraction faite desquelles il contient encore :

Carbone	75,30
Hydrogène	8,90
Azote et oxygène	15,80
	100,00

Des schistes charbonneux rencontrés à 120 mètres de profondeur dans l'île d'Andö, aux Lofoden, Norvège, ont donné à l'analyse :

Carbone	62,5
Hydrogène	8,9
Oxygène et azote	28,6
	100,00

Les cendres représentent 56,50 pour 100 de la roche. La densité de celle-ci est égale à 1,83.

Un schiste d'Orepuki, dans le Southland à la Nouvelle-Zélande, exploitable pour huile minérale, renfermait :

Carbone	11,73
Hydrocarbures	41,73
Eau	8,85
Cendres	37,69
	100,00

1. *Bulletin de la Société chimique*, 1868, p. 8.

§ 3. ANALYSE MICROSCOPIQUE DU NAPHTOSCHISTE

Les schistes bitumineux se rattachent aux houilles mates auxquelles ils sont liés par des passages insensibles. Il semble qu'on doive les diviser en deux groupes, l'un renfermant surtout des particules végétales, l'autre contenant plutôt, comme éléments combustibles, des débris animaux ; le schiste bitumineux du bassin de Zwickau appartient au premier de ces deux groupes et renferme de très fines particules végétales, des débris foliaires, des membranes épidermiques, des spores et des cellules fibreuses mélangées à une forte proportion de schistes argileux.

M. Gümbel a examiné des schistes houillers en les traitant par l'acide fluorhydrique étendu, qui met en liberté une quantité extraordinaire des particules végétales, à structure souvent très bien conservée. Comme ces schistes sont évidemment formés par sédimentation, et qu'on trouve tous les passages entre les schistes charbonneux et la houille schisteuse, il est impossible de contester que l'accumulation des débris végétaux par flottage ait pu jouer un rôle dans la formation de certaines couches de houille. On peut, par le procédé qui vient d'être indiqué, reconnaître quelques détails de la structure anatomique de divers organes foliaires conservés dans les schistes houillers. Le charbon dans lequel sont transformées ces feuilles est presque toujours de la houille brillante qui se brise en petits fragments anguleux. Ce fait prouve que les débris foliaires ont pu contribuer pour une part à la formation du charbon brillant qui constitue certains lits des couches houillères.

Les épaisseurs des lamelles de charbon qui représentent les feuilles sont telles qu'on ne saurait admettre qu'elles aient subi une forte réduction de volume, et l'on peut, ainsi que l'indiquaient déjà les observations faites sur les lignites, évaluer la diminution de l'épaisseur primitive au plus à 50 p. 100. L'examen des écorces transformées en houille conduit aussi à ce résultat, que la compression n'a certainement pas joué un rôle essentiel dans la transformation en houille : aussi les mesures faites sur les tiges de calamites, de sigillaires, de lépidodendrées, les unes couchées à plat, les autres debout, ont donné, à égalité de diamètre, pour une même espèce, les mêmes résultats pour l'épaisseur de l'écorce charbonneuse, et il est clair que la pression subie par les tiges debout n'a pu être aussi forte que pour les tiges couchées. En faisant réagir sur la houille brillante de ces écorces l'acide azotique et le chlorate de potasse, et traitant ensuite le résidu par l'alcool, on s'assure en outre que les tissus ne sont pas plus déformés dans les tiges couchées que dans les autres.

§ 4. GISEMENT DU NAPHTOSCHISTE

On exploite, pour la fabrication d'*huiles* dites *minérales*, des roches argileuses ou schistes qu'on nomme improprement schistes bitumineux. En général, le bitume n'y est pas tout formé ; mais la matière charbonneuse dont ces schistes sont imprégnés, soumise à l'action de la chaleur, produit en se décomposant des huiles,

à peu près eomme le goudron se produit aux dépens du bois, saus y préexister. Pour ne pas employer le nom inexaet de schiste bitumineux, on a proposé les noms de pyrosehiste, schiste à kérosène, et, plus réeemment, eelui de *naphtoschiste*, c'est-à-dire sehiste produisant des matières analogues au bitume.

La distillation des sehistes qui, dès 1833, avait déjà donné lieu, en Franee, à des procédés d'extraetion, s'est beaucoup développée jusqu'en 1865. Depuis lors la découverte des gisements de pétrole américain lui a imprimé une marehe inverse.

FRANCE

Saône-et-Loire et Allier. — A part les premières exploitations de naphtosehiste du département de Saône-et-Loire, aux environs d'Autun, on en a ouvert d'autres dans le département de l'Allier, près de Buxières-la-Grue. Les sehistes de eette dernière localité présentent, dans leur aspect, une grande ressemblanec avec ceux d'Autun, et renferment eomme eux des empreintes de poissons.

Puy-de-Dôme. — Il existe à Ménat dans le terrain tertiaire un gisement important de schistes bitumineux. Il est entièrement enelavé dans le gneiss; le schiste n'est pas distillé; on en fabrique du noir minéral par calcination en vase elos et du tripoli par ineinération à l'air.

Var. — Le terrain houiller des environs de Fréjus (Var) renferme à Boson des eouehes de naphtoschiste, ressemblant ainsi au boghead d'Écosse et à eertains cannel-eoal.

Vendée. — Le bassin houiller de Vouvant (Vendée) renferme aussi des naphtoschistes.

Ardèche. — Il en est de même dans l'Ardèche, à Vagnas, mais pour des eouches tertiaires.

Haute-Saône. — Le schiste bitumineux du lias supérieur des environs de Vesoul, qui est exploité comme engrais, a été analysé par M. L. Durand-Claye. Il renferme :

CaO	MgO	Al^2O^3 Fe^2O^3	KO	PhO^5	Résidu insoluble	Perte au feu	Somme
21,45	0,85	7,55	2,39	0,19	43,35	24,42	100,00
20,95	0,55	8,25	2,62	0,26	42,40	24,97	100,00

Ce schiste, qui est gris, devient brunâtre par altération à l'air; il renferme une proportion de bitume assez grande pour brûler avec flamme, lorqu'il est chauffé au rouge; il y a une trentaine d'années on avait même songé à l'utiliser pour la fabrication du gaz de l'éclairage. Comme ce schiste est très calcaire, il fond à la température du rouge. Son essai, fait spécialement au point de vue agricole et en l'attaquant par l'acide chlorhydrique, montre qu'il contient, indépendamment de la chaux, plus de 2 pour 100 de potasse soluble dans cet acide ainsi que de l'acide phosphorique. On y a trouvé aussi 8 de carbone, 1 de soufre et 0,38 d'azote

GRANDE-BRETAGNE

La couche charbonneuse connue en Écosse sous le nom de *boghead* forme le type le plus riche des schistes bitumineux. Des variétés de combustibles connues sous le nom *cannel* et provenant des terrains houillers de l'Écosse, du Lancashire, du Yorkshire et du Flintshire, servent à peu près aux mêmes usages.

AUTRICHE

En Autriche, à Steyerdorf, ce sont les schistes avoisinant la houille qui sont utilisés pour la fabrication d'huiles et de paraffine.

ITALIE

En Italie on a tenté d'exploiter les naphthoschistes qui accompagnent le lignite dans le Véronais et le Vicentin. On les désigne sous le nom de *liberone*.

RUSSIE

On connaît aussi des naphtoschistes dans le nord de la Russie. Ils proviennent du bassin de la Petchora, et des bords de l'Ouchta.

D'après M. Barhot de Marni, le boghead existe à Murajewinsk, dans le gouvernement de Rjäsan. Sa densité est seulement 1,114 tandis que celle du boghead d'Écosse est 1,162 et que celle du boghead de Bohême varie de 1,237 à 1,259. Le fait tient sans doute à ce que le combustible russe est mélangé d'une proportion beaucoup moindre de matières terreuses. Son analyse a donné en effet :

Carbone	69,94
Hydrogène	7,87
Oxygène et Azote	11,53
Soufre	2,46
Fer	2,15
Matières terreuses	6,25
Total	100,20

Ce boghead propre à la fabrication du gaz forme une couche de 1 mètre à 2m,30 intercalée entre des bancs calcaires dont l'âge n'est pas déterminé.

GALICIE

Des couches de schistes bitumineux noirs, dans lesquelles on trouve souvent le pétrole, sont intercalées dans le grès à nummulites de la Galicie et remontent très haut vers la crête des Karpathes. Ce schiste est très pyriteux et donne par la distillation un pétrole qui exhale une forte odeur de soufre.

AUSTRALIE

La Nouvelle-Galles du Sud, si riche en houille, renferme également, dans les couches supérieures du terrain carbonifère, des naphtoschistes, avec empreintes de plantes (connues sous le nom de glossophteris), que leur aspect et leur qualité rapprochent du boghead d'Écosse. Ces schistes auxquels, selon les variétés, on a donné les noms impropres de *cannel-coal*, *black-cannel*, *brown-cannel* et *shaly-cannel*, sont exploités et distillés au moyen de la houille du voisinage.

§ 5. APPLICATIONS DU NAPHTOSCHISTE

Le principal usage du naphtoschiste est de servir à la fabrication des huiles de schiste et du gaz d'éclairage. A ce point de vue les naphtoschistes renferment :

Huile brute	15
Eau	3
Gaz	12
Coke	79
	100

Le coke ne renferme que 8 pour 100 de charbon. La matière est reçue dans les usines en morceaux d'un très grand volume. On transporte ces morceaux sur des

wagons dans un atelier précédant la distillation. Là, ils sont cassés en fragments de 10 centimètres carrés sur 1 centimètre environ d'épaisseur. La première opération est la séparation des matières solides, des gaz et des matières liquides. Pour cela on opère dans des cornues en fonte placées horizontalement et pouvant contenir 200 kilogrammes de boghead. On a essayé de placer les cornues deux à deux dans un même fourneau, mais cette disposition n'offre pas des avantages en rapport avec les inconvénients, qui sont l'inégalité du chauffage, la réparation d'une cornue entraînant l'arrêt de l'autre, etc. Cette distillation doit être conduite très lentement, afin de ne pas transformer les liquides en gaz.

Une grande amélioration au point de vue de la régularité du chauffage a consisté à placer la cornue dans un bain de plomb fondu. Outre le peu de coloration des huiles le rendement est ainsi plus fort et les huiles sont d'une densité plus faible, ce qui tient à ce qu'il ne s'est pas produit de goudron durant la distillation.

Au sortir des cornues les produits passent dans des serpentins refroidis où se conservent les eaux ammoniacales et les huiles. Les extrémités des serpentins possèdent deux tuyaux, l'un s'élevant pour aller plonger dans un barillet comme dans les usines à gaz, l'autre plongeant dans des réservoirs où se rendent les huiles.

On obtient ainsi de 45 à 50 pour 100 d'huiles marquant 35° Baumé ; le gaz, au sortir du barillet, est aspiré et envoyé au gazomètre par les appareils purificateurs, et il reste dans la cornue un coke conservant la forme du boghead. Ce coke qu'on emploie au chauffage des cornues laisse comme résidu de la combustion une matière composée de silicate d'alumine dont on tire parti pour la fabrication de briques réfractaires et qu'on emploie aussi comme tripoli. On en a fait du sulfate d'alumine en le calcinant avec de l'acide sulfurique.

Le gaz de schiste possède un pouvoir éclairant triple de celui du gaz de houille ; c'est lui qu'on utilise sous le nom de *gaz portatif*.

Certains naphtoschistes sont remarquables par l'abondance des matières minérales filoniennes qui les imprègnent. Tels sont le schiste bitumineux du Mansfeld et le schiste noir imprégné de cinabre d'Idria en Carniole.

Nous avons déjà vu qu'on exploite le naphtoschiste de Ménat pour la double fabrication du noir minéral et du tripoli.

CHAPITRE VII

LES BITUMES

§ 1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES BITUMES

Les roches que l'on désigne sous le nom de *bitumes* sont tantôt solides et tantôt pâteuses. Dans le premier cas on les désigne souvent sous le nom d'*asphalte* et dans le second sous celui de *pissasphalte*. Cette dernière roche paraît être au moins très souvent un simple mélange d'asphalte et de pétrole.

L'asphalte type offre une couleur d'un noir de poix, une cassure conchoïdale brillante, une grande fragilité et une densité qui varie de 1,05 à 1,16. Ce minéral entre en fusion à la température de l'eau bouillante; il s'enflamme aisément, et brûle avec une flamme claire et une fumée épaisse, en laissant peu de cendres. Il s'électrise négativement par le frottement. Il est presque insoluble dans l'alcool: mais il se dissout en grande partie dans l'éther, et aussi dans l'huile de naphte. Il est composé de carbone, d'hydrogène et d'oxygène. Suivant John, il peut être décomposé en trois substances distinctes par différents dissolvants, l'alcool, l'éther, et l'huile de térébenthine ou de naphte.

L'asphalte du commerce, appelé aussi malthe et pissasphalte, est mou et glutineux, et ressemble à de la poix ou du goudron. Il se durcit par le froid et se ramollit par la chaleur. Il est plus aisément fusible, et plus soluble dans l'alcool que l'asphalte solide ou asphalte proprement dit. On a dit qu'il est mêlé d'un peu de pétrole, et c'est à la présence de ce corps qu'on a attribué le ramollissement de ce bitume. On l'a donc considéré comme formant une sorte de passage entre le pétrole et l'asphalte, et pouvant se rapprocher d'autant plus de l'un des deux, que l'autre est en plus faible proportion. Quoi qu'il en soit, il paraît impossible d'établir une ligne nette de démarcation entre cette variété et la précédente.

On ne peut séparer de ces deux types un certain nombre de roches qui en sont imprégnées et qui à ce titre sont dites *bituminifères*. Les principales sont le calcaire et le sable transformé en grès plus ou moins cohérent.

1. Poix minérale; goudron minéral; baume de momie; bitume de Judée; karabé de Sodome.

§ 2. COMPOSITION CHIMIQUE DES BITUMES

D'après Ebelmen un asphalte d'Auvergne contient :

Carbone	76,19
Hydrogène	9,41
Oxygène	10,34
Azote	3,32
Cendres	1,80
	101,06

D'après M. Boussingault l'asphalte d'Alsace contient :

Carbone,	87
Hydrogène	11,20
Oxygène	1,80
	100,00

A titre historique rappelons que Klaproth[1] avait trouvé dans un asphalte très pur provenant d'Aloona, en Albanie :

Gaz hydrogène	36,00	pouces cubiques.
Huile bitumineuse	32,00	grains.
Eau faiblement ammoniacale	6,00	
Charbon	30,00	
Silice	7,05	
Alumine	7,05	
Chaux	0,75	
Oxyde de fer	1,25	
Oxyde de manganèse	0,50	

Des bitumes, susceptibles d'être utilisés pour les constructions, ont été essayés au laboratoire de l'École des mines.

L'un d'eux, intercalé entre les couches de lignite de l'île Suderoë (Féroë), a donné :

Matières volatiles	49,80
Carbone fixe	49,60
Cendres	0,60
	100,00

1. *Annales de chimie*, t. XLV.

Un autre bitume intercalé entre les couches de lignite de l'île de la Trinité renfermait :

Matières volatiles	77,00
Carbone fixe	14,00
Cendres	9,00
	100,00

M. Boussingault donne le nom d'*asphaltène* à une variété qu'il a recueillie à Cavitambo (Équateur) et qu'il regarde comme étant de l'asphalte très pur.

§ 2. ANALYSE IMMÉDIATE DES BITUMES

Il paraît utile de donner d'après Karsten l'analyse immédiate suivante de l'asphalte de Brazzo :

Huile volatile	5,00
Résine brune soluble dans l'éther	20,00
Bitume insoluble dans l'alcool et l'éther	74,00
Résiné jaune soluble dans l'alcool	1,00
	100,00

§ 3. GISEMENT DES BITUMES

FRANCE

Les bitumes ne sont pas rares en France. La carte ci-jointe (fig. 80) indique la situation des principaux gisements. Elle a été dressée par Foucou dans le but de rechercher si ces gisements ne sont pas coordonnés entre eux suivant les prétendues lois qui, d'après Élie de Baumont, domineraient toute l'anatomie de la terre.

Ain. — Aux environs de Seyssel (Ain) le Rhône coule entre des escarpements formés de grès et de calcaire imprégnés de bitume et remplis de coquilles marines. La partie supérieure est formée de cailloux agglomérés. D'après M. Puvis[1], le bitume noir liquide est extrait d'un grès qui s'élève de 200 ou 300 mètres au-dessus du Rhône. Le bitume a pénétré dans le grès après sa formation et s'y est irrégulièrement disséminé, suivant la texture plus ou moins poreuse de la roche. Quant au calcaire asphaltique, il est bitumineux, brun, et exploité au-dessus de l'établissement de Pyrimont. Il constitue une masse très épaisse sans stratification distincte

1. *Annales des mines*, 3e série, t. VI, p. 179 (1834).

et résulte de la pénétration du bitume dans un calcaire blanc, tendre et poreux qui est d'âge néocomien.

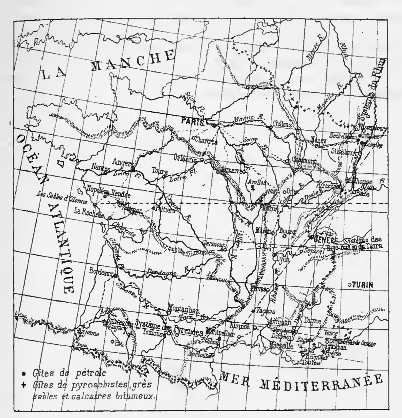


Fig. 80. — Distribution en France des gîtes bitumineux. — D'après Félix Foucou.

A Seyssel même, sur la rive droite du Rhône, ce calcaire néocomien asphaltique constitue un massif visible de 800 mètres de long et 300 mètres de large. Dans la roche environnante, qui est gréseuse, le bitume a pénétré en formant de grosses veines dont les galeries d'exploitation suivent toutes les sinuosités.

Le calcaire contient de 9 à 10 pour 100 de bitume et le grès de 15 à 18. Ce bitume est composé de 60 à 70 pour 100 de matière bitumineuse pétrolifère et de 30 à 35 de charbon.

D'après Rozet[1], l'introduction de cette substance serait contemporaine des éruptions basaltiques qui ont été souvent accompagnées de phénomènes semblables dans d'autres pays. Le bitume aurait été sublimé des profondeurs du globe à travers une fente correspondant à la direction dans laquelle ce produit s'observe aujourd'hui et il se serait condensé dans les roches supérieures poreuses.

1. *Annales des mines*, t. VII, p. 138 (1836).

Au contraire, M. Millet[1] pense que la pénétration du bitume a eu lieu de haut en bas ou de la surface à l'intérieur des roches, que son apparition date de l'époque de la molasse, et que les causes qui l'ont produite ont continué pendant que celle-ci se déposait. On trouve en effet des bancs imprégnés de bitume alternant avec d'autres qui n'en renferment pas, et reposant, en stratification concordante, sur l'oolithe corallienne bitumineuse dont la masse cesse d'être imprégnée au contact d'un banc peu épais de calcaire compact.

L'analyse d'un calcaire asphaltique des environs de Seyssel a été faite au bureau d'essai de l'École des mines. Elle a donné :

Argile	3,00
Sesquioxyde de fer	2,60
Chaux	45,00
Magnésie	3,50
Acide sulfurique	0,20
Acide phosphorique	0,20
Eau et acide carbonique	38,60
Matières bitumineuses	6,70
Total	99,60

En soumettant à la distillation les matières bitumineuses et en isolant celles qui se dégagent à diverses températures, on a obtenu les résultats suivants :

			Densité.	Proportion sur 1000.
Eau ammoniacale			—	10
Huile jaune distillant	de	80° à 150°	0,865	96
— jaune foncé	—	150° à 200°	0,888	58
— rougeâtre	—	200° à 250°	0,907	112
— —	—	250° à 300°	0,922	310
— rouge brun	—	au delà de 300°	0,958	275
Produits solides			—	139
Total				1,000

Puy-de-Dôme. — La formation tertiaire de la Limagne d'Auvergne (Puy-de-Dôme) est intéressant par divers gîtes bitumineux qui, pour la plupart, sont associés à des brèches d'origine éruptive et constituent l'un des produits de l'activité volcanique pendant la période tertiaire. Des calcaires et des marnes imprégnés de bitume ont été exploités près de Dallet et de Pont-du-Château ; mais, aujourd'hui, le grès à ciment de bitume, ou molasse, a plus d'importance, parce qu'on peut en extraire le brai par des lessivages à l'eau chaude.

Le Puy de la Poix, ou de la Pège, se voit à 5 kilomètres de Clermont, sur la gauche de la route de Lyon, sous la forme d'un monticule de pépérite basaltique

1. *Annales des mines*, 5e série, t. XI, p. 353.

d'où s'échappe une source bitumineuse, renfermant du chlorure de sodium et de l'hydrogène sulfuré.

La quantité de bitume est assez considérable et elle est plus forte en été qu'en hiver : d'après Lecoq[1], elle atteindrait de 500 à 750 grammes par jour pendant les fortes chaleurs.

Actuellement on recueille le bitume, mais autrefois il coulait sur les flancs des monticules à l'état semi-liquide de pissasphalte et il durcissait au soleil pour se transformer en asphalte. La quantité ainsi répandue devait s'élever au moins à 150 kilogrammes et l'on conçoit que ce bitume accumulé ait pu former ou du moins recouvrir tout un monticule.

Guettard, en 1759, en a donné dans les mémoires de l'Académie des sciences une description intéressante :

« Les monticules de cette province les plus connus pour donner du bitume sont, dit-il, ceux de Crouelle et de Puy de la Poix.

« Celui-ci est séparé en deux têtes dont la plus haute peut avoir douze ou quinze pieds et l'autre un peu moins ; le plus petit fournit plus de bitume que l'autre ; deux ou trois endroits le donnent en liquide ; ce monticule regarde le nord ; il est composé d'une pierre plus ou moins tendre, bleuâtre, parsemée de taches noires, qui sont de bitume ; le tour de ces taches est blanc ou jaunâtre ; quelques-unes de ces pierres sont noirâtres sans taches ; d'autres ne sont qu'en partie tavelées et en partie noirâtres ; il y a des morceaux d'un brun roussâtre avec des taches circulaires gris de fer foncé ; des morceaux sont incrustés de bitume dur et brillant ; d'autres le sont d'une matière jaunâtre, spatheuse et presque cristallisée ; plusieurs sont parsemés de points pyriteux, d'un jaune particulier aux pyrites. A côté de ce monticule il y a une petite élévation d'environ trois pieds de hauteur sur 15 de diamètre ; il paraît, selon M. Ozy, que cette élévation n'est formée que du bitume qui se dessèche à mesure qu'il sort de terre ; la source est au milieu de cette élévation ; si l'on creuse en différents endroits autour et en dessous de cette masse de bitume, autant qu'il est possible, on ne trouve aucune apparence de rocher. »

De nos jours on voit le bitume sortir avec l'eau des fentes de la wackite ; il est chassé surtout par le gaz hydrogène sulfuré qui s'accumule dans le bitume et forme des bulles qui, après être restées longtemps captives, s'échappent en brisant les parois amincies du pissasphalte. « Le bitume qui produit de pareils effets, dit Jean Banc, produit une horrible puanteur. »

Il résulte de là que l'eau est constamment recouverte, en grande partie du moins, d'une couche de bitume et d'une croûte blanche, consistant, d'après M. Nivet, en carbonate de chaux mélangé de sel marin. « Lorsqu'il n'existait pas encore de bassin, dit M. Nivet, on pouvait suivre de l'œil la sortie de l'eau, du gaz et du pissasphalte. On voyait alors s'échapper de temps en temps des séries de bulles d'hydrogène sulfuré, mêlé d'acide carbonique, chassant devant elles de petits amas de bitume qui s'étalaient en s'entourant d'une auréole irisée. Parfois, cette matière gluante obstruait la fente du rocher ; l'eau et les gaz s'accumulaient au-dessous

1. *Les eaux minérales du Plateau central*, p. 245.

d'elle et, après quelques instants, ils projetaient au loin l'obstacle qui les avait un moment arrêtés. »

La pellicule irisée que l'on remarque assez souvent sur l'eau n'est autre chose qu'un peu de pétrole qui se sépare du pissasphalte.

C'est dans un terrain tout à fait semblable à celui du Puy de la Poix que l'on rencontre au Pont-du-Château des demi-globes de calcédoine, collés sur la wackite par du bitume.

Du reste, la présence du bitume dans les wackes, est un fait très commun en Auvergne.

« Il semble, dit Lecoq, que ces wackites, en brisant la croûte de la Limagne, aient amené avec elles les sources bitumineuses. Ces sources, il est vrai, sont depuis longtemps taries, mais le bitume est resté. On peut se convaincre de la présence de ce combustible au Puy-de-Crouelle, en face du Puy de la Poix, au calvaire de Clermont, au Puy d'Auzel, au Puy de Cornonet, à Malintrat, à Cœur, à Lussat, etc. »

Autres points de la France. — Des gisements de bitume existent encore dans d'autres parties de la France, telles que le département des Basses-Alpes aux environs de Manosque ; le département du Gard, aux environs d'Alais ; les Landes, près de Bastennes ; les Basses-Pyrénées ; la Savoie, près de Lovagny. Ces divers gisements, quoique non exploités, présentent un intérêt théorique, par leur analogie avec d'autres gisements plus considérables.

SUISSE.

Canton de Neuchâtel. — Il existe dans le Val de Travers un gisement de calcaire néocomien alphaltique tout à fait semblable à celui de Seyssel et exploité comme lui.

ALSACE

Bechelbronn. — Les couches dans lesquelles sont ouvertes les mines que l'on exploite depuis près d'un siècle à Bechelbronn sont principalement formées de marnes grises ou verdâtres, quelquefois sableuses, auxquelles sont subordonnés des lits de sable[1]. Le sable, qui est rarement exempt d'argile, est souvent agglutiné par un ciment calcaire sous forme d'un grès assez cohérent ; accidentellement ce grès passe au poudingue. Les marnes sont quelquefois plastiques lorsqu'elles ne contiennent que peu de carbonate de chaux ; le plus souvent elles sont schisteuses et micacées ; au moment où elles viennent d'être extraites, elles exhalent fréquemment une odeur qui a quelques ressemblance avec celle de la térébenthine. Certaines couches marneuses d'un rouge brun vif rappellent par leur coloration les marnes du keuper.

1. *Description géologique du Bas-Rhin*, par M. Daubrée, p. 165 et suiv. 1852.

La succession suivante a été rencontrée de haut en bas, dans le puits Madeleine, qui a été foré en 1839 :

	mètres.
1. Terre végétale.	1,30
2. Argile et marne	9,08
3. Sable bitumineux	0,16
4. Marne bleuâtre.	3,89
5. Grès.	0,48
6. Marne bleuâtre.	3,89
7. Grès.	0,16
8. Marne.	1,78
9. Marne sableuse et sable noir. . . .	1,62
10. Marne bleuâtre.	2,27
11. Argile rouge.	0,65
12. Sable bitumineux	0,10
13. Marne sableuse.	1,19
14. Argile rouge.	0,81
15. Marne bleuâtre et sable noir. . . .	6,33
16. Argile rouge.	0,78
17. Grès.	0,67
18. Argile rouge.	0,97
19. Marne grise	0,97
20. Grès.	0,24
21. Argile rouge.	1,24
22. Grès.	0,08
23. Argile rouge.	0,73
24. Marne bleue	1,02
25. Sable bitumineux.	0,32
26. Marne grise	1,08
27. Grès.	0,40
28. Marne grise	0,51
29. Marne bleue	0,45
30. Marne bleue	0,32
31. Sable bitumineux	0,52
32. Marnes bleuâtres et noires.	10,36
33. Grès.	0,32
34. Marne grise	1,95
35. Sable bitumineux	0,32
36. Marnes bleuâtres et noires entremêlées de sables bitumineux. .	5,66
37. Sable bitumineux	1,78
38. Marne mélangée de grès.	0,95
39. Sable bitumineux	1,30
40. Grès.	0,81
A reporter. . . .	70,79

	Report. . . .	70,79
41.	Marnes grises et noires.	2,10
42.	Grès.	0,32
43.	Marnes bleuâtres et noires renfermant des lits de sable bitumineux.	4,24
		77,45

Ainsi, ce puits a rencontré, à différentes profondeurs, huit couches de sable bitumineux dont l'épaisseur totale est de $4^m,75$; on voit que les argiles et les marnes y prédominent beaucoup par rapport au grès.

Le sable bitumineux, objet de l'exploitation, qui consiste en sable mélangé de bitume, forme, au milieu des sables et des grès stériles, des amas aplatis parallèlement à la stratification. Ces amas stratiformes sont fort allongés par rapport à leur largeur, de sorte que, considérés en projection horizontale, ils présentent la forme de longs boyaux (fig. 81).

L'épaisseur des amas bitumineux varie ordinairement de $0^m,80$ à 2 mètres, et s'élève tout à fait exceptionnellement jusqu'à 4 mètres. Vers le fond, leur épaisseur diminue jusqu'à s'annuler complètement de sorte que, la section transversale de ces amas est lenticulaire. Il en est qui ont été suivis sur une longueur de 800 mètres avec une largeur moyenne de 30 mètres, qui accidentellement allait jusqu'à 60 mètres. Pour abréger on peut donner à ces amas le nom de *veines*, qui convient d'ailleurs mieux à leur forme allongée que celui de couches par lequel les désignent les mineurs. Au lieu de se terminer tout à fait, une veine se réduit souvent à un lit de sable peu riche en bitume; cette traînée de sable forme comme une trace qui, poursuivie, fait quelquefois découvrir d'autres veines situées au même niveau.

Dans les travaux de Bechelbronn, les couches, abstraction faite de faibles ondulations, se dirigent N. 35° E. à S. 35° O.; elles plongent vers E. 35° S. de $0^m,043$ par mètre, c'est-à-dire de 2°27′. Cette direction est parallèle à celle d'une partie des failles qui limitent le grès des Vosges dans le voisinage.

Un coup d'œil jeté sur la figure 81 montre la disposition des différentes veines bitumineuses; elles s'étendent longitudinalement suivant une direction assez prononcée qui varie de N. 22° à 58° E. — S. 58° à 22° O.; c'est-à-dire que ces veines sont allongées parallèlement à la stratification du terrain.

Le bitume de Bechelbronn est visqueux et d'un brun foncé. Le bitume vierge, qui est apporté par l'eau d'une source située près de la fabrique, est plus fluide que celui que l'on extrait par l'ébullition ; son odeur est aromatique.

M. Boussingault a fait connaître la composition et les caractères chimiques de ces bitumes [1]. Voici ses résultats :

1° *Bitume obtenu du sable par le traitement à l'eau bouillante.* — En soumettant ce traitement à une distillation à 250 degrés, on obtient une huile jaune qui présente toutes les propriétés du pétrole. M. Boussingault y a trouvé :

Carbone.	8,86	à	8,82
Hydrogène.	1,25	à	1,27

1. *Annales de chimie et de physique*, t. XXIII, p. 442.

Il contient en outre une petite quantité d'oxygène.

2° *Bitume vierge.* — Ce bitume est celui qui surgit avec une source d'eau dans

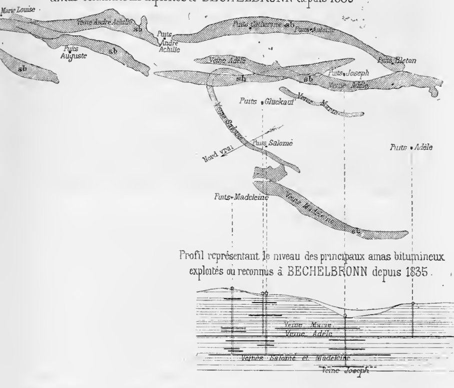


Fig. 81. — Plan et coupe de la mine de Bechelbronn. — D'après M. Daubrée.

une prairie près de l'usine. Son odeur est aromatique; il est brun. Sa consistance est beaucoup moins ferme que celle du bitume provenant du traitement du sable. M. Boussingault y a trouvé :

Carbone	88,5
Hydrogène	11,1
Azote	1,1
	100,5

Ce bitume renferme très probablement une certaine quantité d'oxygène.

Le sable contient rarement au delà de 4 pour 100 de bitume et sa teneur moyenne ne dépasse pas 2 pour 100.

De l'argile est ordinairement mélangée au sable bitumineux, soit sous forme de petits fragments irréguliers, soit en lits parallèles à la stratification. Cette argile

est un obstacle à l'extraction du bitume qu'elle retient avec force. La pyrite de fer, que l'on rencontre dans les différentes couches de terrains, est surtout abondante dans les veines bitumineuses et à proximité des débris végétaux que contiennent ces veines. Lorsqu'elle y est en particules invisibles à l'œil nu, ainsi qu'il arrive ordinairement, la pyrite est reconnaissable sur les haldes des mines par l'apparition de beaucoup d'efflorescences blanches et terreuses de gypse qui se produit au bout de quelques semaines par l'action de l'air sur le sulfure de fer. La pyrite se trouve aussi en rognons de quelques centimètres de diamètre et en plaquettes ; quelques parcelles forment des tubes creux de plusieurs décimètres de longueur, parce qu'elle s'est concrétionnée autour de morceaux de bois qui ont disparu par la décomposition. A Bechelbronn, comme dans la plupart des terrains, on reconnaît donc clairement l'influence que la matière végétale ou réductrice a exercée sur la fixation de la pyrite.

Les eaux qui découlent des tailles d'exploitation charrient une grande quantité de bitume, ainsi qu'on peut le voir dans les travaux qui dépendent du puits Salomé. Il serait donc possible que les eaux souterraines eussent opéré un déplacement notable de bitume depuis que cette dernière substance est enfouie dans le terrain.

M. Daubrée a donné l'historique de l'exploitation de ce bitume : Une source dont l'eau est chargée de bitume et qui jaillit dans une prairie près de l'habitation de Bechelbronn a été l'origine de l'exploitation actuelle; c'est de l'ancien nom de Pechelbronn (*puits de poix*) que dérive par altération celui de Bechelbronn. On se bornait autrefois à recueillir le bitume qui surnageait dans le bassin de cette source. Wimpheling, qui écrivait en 1498, dit que depuis longtemps on se sert de bitume de Bechelbronn ; dans le seizième siècle, l'eau fournissait spontanément l'huile minérale en si grande quantité que les paysans des environs s'en servaient pour alimenter leurs lampes et pour graisser leurs voitures[1]. A 150 mètres de la source, un affleurement de sable bitumineux fut découvert en 1735 par un médecin grec nommé Éryn d'Érynnis qui habitait les environs, et en 1742, M. de la Sablonnière avait déjà exploité des mines de cette nature dans le canton de Neuchâtel, ouvrit une exploitation souterraine qui depuis lors n'a pas été interrompue.

Soultz-sous-Forêts. — Des argiles verdâtres semblables à celles des environs de Bechelbronn se rencontrent près de Soultz-sous-Forêts. Entre cette localité et Retschweiller, on voit ces argiles alterner avec des couches de grès jaunâtres, à ciment calcaire, qui contiennent de petits débris de coquilles.

Une veine de sable bitumineux semblable à celle de Bechelbronn fut découverte en 1771, dans ce terrain et à 4 kilomètres au sud-est de la première localité. Le gîte, situé à 17 mètres de profondeur, fut exploité par des travaux qui partaient de la rive droite de la Seltzbach et qui s'étendaient jusqu'à proximité de l'église. Une usine de douze chaudières établie à Soultz pour traiter cette substance produisait annuellement, vers 1792, jusqu'à cinquante quintaux métriques de bitume[2]. Une faille qui traverse la vallée coupe tout à fait la couche vers l'ouest, tandis que le

1. *Tabernæ Montani Wasserschatz*, 1584.
2. Graffenauer, *Minéralogie économico-technologique*, p. 126.

sable devient très pauvre vers l'est, et la mine fut abandonnée. Les sondages faits depuis lors autour de Soultz-sous-Forêts n'ont abouti à aucun résultat.

Oberkutzenhausen et Kinderloch. — A 200 mètres à l'ouest d'Oberkutzenhausen, on voit affleurer dans un ravin des grès bitumineux semblables à celui de Bechelbronn. Il est accompagné d'argiles verdâtres et de grès à ciment calcaire, comme à Soultz-sous-Forêts.

Dans le vallon dit Kinderloch, entre Preuschdorf et Gunstett, il y a aussi des marnes et des grès identiques à ceux de Bechelbronn.

Schwabwiller. — Des couches de marnes d'un gris bleuâtre semblables à celles de Bechelbronn, ont encore été rencontrées à Schwabwiller, village situé à 6 kilomètres au sud-est de Bechelbronn. Ces marnes sont souvent sableuses et alternent avec des sables qui sont quelquefois agglutinés par du carbonate de chaux.

Des sondages ont été faits aux environs de Schwabwiller et 1838 et en 1839 pour la recherche du bitume. Voici les coupes des terrains traversés par l'un des sondages :

	mètres
1. Terre végétale	1,40
2. Sable jaune	2,00
3. Argile sablonneuse grise	1,20
4. Argile grise dans laquelle on a rencontré du bitume	21,40
5. Argile bleuâtre	4,25
6. Argile sablonneuse grise	2,40
7. Sable gris	1,70
8. Argile gris bleuâtre	40,65
9. Argile sablonneuse	0,30
	75,30

Le bitume de Schwabwiller est très fluide et d'un brun assez foncé. Son odeur, qui est agréable, rappelle celle du pétrolène. Il contient, d'après M. Boussingault :

Carbone	88,7
Hydrogène	12,6
Azote	0,4
	101,7

En raison de sa fluidité, le bitume de Schwabwiller, ainsi que celui de Bechelbronn, ne pouvait servir comme graisse. On l'a utilisé pour l'éclairage ; puis on en a extrait des huiles par distillation.

Lobsann. — Les couches tertiaires connues aux environs de Lobsann, soit par les travaux des mines, soit dans les ravins, présentent à leur base des marnes avec deux niveaux de sables bitumineux. Ces marnes sont grises, brunes, verdâtres, ou quelquefois rougeâtres ; quelques couches minces de calcaire leur sont subordon-

nées ; le grès à ciment calcaire est quelquefois en masses très dures qu'il faut faire sauter à la poudre. Cet ensemble de couches a été reconnu par des sondages sur une épaisseur qui dépasse 60 mètres.

Le sable bitumineux que l'on extrait à Lobsann renferme rarement au delà de 4 pour 100 de bitume, et en général seulement 1,5 à 2 pour 100. Ce bitume s'éloigne beaucoup plus de l'état fluide que celui de Bechelbronn et appartient à la variété désignée sous le nom de malthe.

Au-dessus de cet étage se rencontre un calcaire bitumineux ou asphaltique qui est l'objet principal de l'exploitation. Il forme des couches dont l'épaisseur varie de 1 mètre à $2^m,50$; il alterne avec du calcaire gris clair qui est ordinairement friable. Ce dernier calcaire répand, par le choc, la même odeur aromatique que le calcaire bitumineux proprement dit. Du reste, les deux variétés principales de calcaire ne sont pas régulièrement séparées ; le calcaire bitumineux forme souvent des veines ou des taches dans le calcaire ordinaire.

Comme exemple de la disposition relative du calcaire bitumineux et du calcaire ordinaire, on citera la coupe suivante (de bas en haut) dans la galerie dite 126 :

1. Calcaire bitumineux	1,40
2. Calcaire blanc alternant avec des lits de lignite	0,50
3. Calcaire bitumineux riche	2,40
4. Calcaire bitumineux maigre, c'est-à-dire peu riche.	1,00
5. Calcaire blanc	0,90
6. Calcaire bitumineux maigre	0,80
7. Calcaire blanc avec lignite	0,10
8. Calcaire bitumineux riche	2,50
	9,60

La proportion de bitume mélangé au calcaire de Lobsann s'élève à 10,12 et même 18 pour 100, le calcaire est donc beaucoup plus riche.

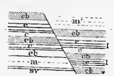


Fig. 82. — Disposition des couches calcaires asphaltiques, *cb* ; de calcaire ordinaire, *c* ; de lignite, *l* ; de sable bitumineux, *sb* ; de marnes inférieures (*m*) et des marnes avec coquilles marines (*m'*) supérieures au calcaire asphaltique dans les mines de Lobsann. — D'après M. Daubrée.

Les couches bituminifères de Lobsann sont recoupées de failles nombreuses ; l'une d'elles prise pour exemple est représentée dans la figure 82.

ALLEMAGNE

Brunswick. — M. A. de Strombeck[1] a décrit un gîte d'asphalte appartenant à l'étage inférieur du portlandien de Wintjenberg (Brunswick). On exploite sur une épaisseur d'environ 5 mètres le calcaire portlandien, qui est devenu brun noirâtre et a été imprégné d'asphalte. La proportion de ce dernier peut s'élever jusqu'à 18 pour 100.

A Limmer, près de Hanovre, on trouve également l'asphalte, mais à un niveau plus bas que le précédent, dans les couches à ptérocères du kimméridgien.

M. de Strombeck pense que dans le nord-ouest de l'Allemagne, l'asphalte, comme le pétrole, provient de la décomposition des lignites ou terrain wealdien qui auraient donné lieu à une infiltration locale et de haut en bas.

D'après M. Strombeck[2], la roche asphaltique qui s'exploite à Wintjenberg appartient au portlandien inférieur; sa teneur en asphalte doit être attribuée à une imprégnation postérieure, produite peut-être par une décomposition des combustibles intercalés dans l'étage wealdien.

Saxe. — Le nom de *pyropissite*[3] a été donné par M. Kenngott à un combustible terreux et amorphe qu'on trouve à Weissenfels et à Zeitz dans la province prussienne de Saxe. A l'état humide il devient jaune, brun, roux et très gras au toucher; à l'état sec il est blanc jaunâtre et se laisse facilement écraser entre les doigts; sa cassure est molle, terreuse, inégale; il prend feu au contact d'une bougie et donne une flamme fuligineuse en répandant une odeur aromatique. Lorsqu'il est pur, il fond comme la cire à cacheter et conserve très bien les empreintes. Sur la feuille de platine il fond en une masse noire ayant l'aspect de la poix. L'éther en extrait une substance ressemblant à de la cire.

Une pyropissite de Gerstewitz, contenant 13,5 de cendres et ayant une densité de 0,9, a été analysée par Karsten, qui a trouvé par sa composition élémentaire :

Carbone.	68,92
Hydrogène.	10,30
Oxygène.	20,78
	100,00

M. Stohr a fait une étude spéciale du gisement de la pyropissite qui est associée aux lignites de Zeitz et de Weissenfels. Voici les principaux résultats de ses observations.

La pyropissite se montre seulement dans les endroits où le lignite est recouvert par une faible épaisseur au toit. Ainsi, on n'en trouve guère à plus de 15 mètres de profondeur.

1. *Deutsche geologische Gesellschaft*, t. XXXIII, p. 277.
2. *Jahresbericht der Chemie*, 1871, p. 1188.
3. *Neues Jahrbuch*, 1867, p. 403.

Son gisement est assez varié : tantôt elle est partie intégrante des couches de lignites dont elle forme la partie supérieure, particulièrement dans les endroits où leur puissance est la plus petite. Tantôt elle imprègne plus ou moins les lignites terreux dans lesquels elle présente plusieurs couches claires d'un combustible coulant. Du reste ces couches se trouvent toujours vers la partie supérieure des lignites; elles alternent et se montrent quelquefois sur 8 mètres de puissance; de plus, la teneur en bitume d'une même couche est assez variable pour qu'elle fournisse soit du charbon coulant, soit du lignite ordinaire.

Dans certains cas, la pyropissite forme encore des nids dans le lignite dans lequel elle se fond peu à peu ou bien duquel elle est nettement séparée. La nature du toit exerce une grande influence sur la pyropissite. Quand c'est du sable ou du gravier, sa qualité s'améliore. Au contraire, de l'argile ou des conglomérats argileux tendent généralement à la rendre mauvaise. La pyropissite est toujours accompagnée de la variété de charbon de qualité inférieure qui est nommée *russkohle;* cette dernière se montre au toit et son épaisseur varie de quelques centimètres jusqu'à 3 décimètres. En outre la pyropissite ne contient pas de pyrite de fer, ni de gypse, ni de troncs d'arbres.

Quant à l'origine de cette substance minérale, M. E. Stohr l'attribue à un métamorphisme du lignite. Les caractères du lignite terreux en couches indiquent en effet qu'il doit résulter d'une macération complète des végétaux. De plus, le lignite pur se transforme en hydrogène carbonés et en bitumes ; tandis que d'un autre côté, en comparant la composition du lignite avec celle de la pyropissite, on constate qu'on passe de l'un à l'autre en admettant un dépôt d'acide carbonique et d'eau.

Observons maintenant que le pétrole contient les mêmes substances que la pyropissite et en particulier de la paraffine qui se trouve dans le pétrole de Modène et de Galicie. D'où M. Stohr conclut qu'il a dû se former comme la pyropissite et non par une combinaison directe de carbone et d'hydrogène qui se serait produite dans l'intérieur de la terre.

ITALIE

Les calcaires bitumineux de Querceto, près Sienne, donnent, d'après M. Bechi, 4 pour 100 de bitume, duquel on peut extraire du naphte par une nouvelle distillation.

ESPAGNE

Une exploitation considérable de calcaire asphaltique se fait à Maestre, province d'Alava, non loin de Victoria en Espagne. Le calcaire rend en moyenne 12 à 14 pour 100 et se trouve dans le terrain crétacé. Le terrain crétacé fournit aussi du calcaire asphaltique à Burgos et à Santander.

PORTUGAL

Dans le gîte de Granja, près de Monte Real, on a trouvé quatre couches, dans une position presque verticale, avec des épaisseurs variant entre $0^m,30$ et $2^m,40$, où les concentrations de bitume sont quelquefois considérables. Ces couches alternent avec des argiles et des marnes; elles forment la base d'une série sédimentaire assez étendue, caractérisée par la présence de fossiles d'eau douce et qui paraît représenter, dans cette région, l'étage inférieur du terrain crétacé, connu sous le nom de wealdien.

ALBANIE

M. Coquand[1] a fait connaître les gîtes bituminifères de Selenitza en Albanie. Ils sont intercalés dans les couches du terrain tertiaire subapennin, au milieu d'argiles où ils forment des amas.

Le bitume se présente sous deux états : celui de malthe ou bitume solide et celui de pissasphalte ou bitume glutineux, tous deux contemporains des terrains encaissants. Le pissasphalte qui conserve encore l'huile de naphte à laquelle il doit sa fluidité est susceptible de produire spontanément du gaz inflammable et par conséquent de donner naissance à des volcans d'air et à des fontaines ardentes.

RUSSIE

Dans la Russie d'Europe, un petit îlot de dépôts, appartenant à la formation carbonifère, s'élève au milieu des roches permiennes, jurassiques et crétacées. Il appartient à l'étage supérieur du calcaire carbonifère. Ces dépôts limitent au nord la sinuosité du Volga, connue sous le nom de « Samarskaïa-Louka », ou presqu'île de Samara; près du bourg de Tzarevstchina, ils passent sur la rive gauche du Volga, où ils forment le « Tumulus du Tzar ». Ces dépôts se retrouvent plus loin vers l'ouest, sur les rives de la Sisranka de la Krimza et de l'Oussa.

On n'y trouve pas de houille ni au-dessus, ni au-dessous du calcaire carbonifère; ce fait a été constaté par le puits de forage exécuté près de Batraki.

Au sud-ouest le calcaire carbonifère présente une succession de couches de calcaire ordinaire et de couches imprégnées d'asphalte qu'on y rencontre aussi à l'état pur, en forme de globules. Les globules d'asphalte n'ont qu'un intérêt secondaire, mais le calcaire asphaltique est un objet d'exploitation. On s'en sert pour la fabrication du mastic. Des dépôts fort riches se rencontrent près de la ville de Sisran, le long de la Sisranka et de ses affluents, le long de l'Oussa et du Volga, entre

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XXV, p. 20.

Kostyachi et Petcherskoïe. Dans ces derniers endroits le calcaire carbonifère présente de nombreux affleurements sur les bords abrupts de la rivière, ce qui en rend l'exploitation facile. Près du village Petcherskoïe les bancs de calcaire plongent sous le niveau du Volga et sont remplacés par des assises de la formation permienne, qui sont très pauvres en asphalte.

Au nord de la Samaskaïa-Louka, dans une propriété forestière appartenant aux apanages et nommée Bahilovo-Askoulska, se trouve un gisement de pissasphalte. Il présente une couche de sable, appartenant probablement au terrain d'alluvion et contenant 20 p. 100 de bitume.

Le grès bitumineux remplit une cavité longue de 400 mètres, large de 100 mètres et profonde de 10 mètres au centre. Elle n'est couverte que par une couche mince de terre végétale; le mur du gîte est composé de sable.

Ce gisement n'est qu'à 3 kilomètres du Volga.

Les minerais d'asphalte sont exploités depuis 1874. On les extrait par des carrières à ciel ouvert et ils servent à fabriquer du mastic d'asphalte dans trois usines, dont la plus importante est dans la ville de Sisran. La fabrication annuelle est de 10 000 tonnes et augmente avec beaucoup de rapidité. Le bitume libre nécessaire à cette fabrication est extrait de grès bitumineux qui se trouvent aussi dans le district de Sisran.

SUÈDE

M. Igelstroem[1] a découvert en Suède occidentale, dans la province de Wermland, des roches de gneiss et de micaschiste tellement imprégnées de matières bitumineuses que les plus petits fragments en sont pénétrés et que leur couleur ressemble tout à fait à celle de la poudre à canon.

Ces roches traitées par la chaleur dégagent 9 p. 100 de gaz hydrocarburés avec une huile incolore. C'est la première fois que le bitume est signalé en pareille quantité dans des roches aussi anciennes.

ALGÉRIE

Dans le Dahra (province d'Oran), qui fait partie de la chaîne située en face de la plaine du Chéliff, on a trouvé, en 1874, une source de bitume ou *pétrole glutineux*.

Ce goudron est mou, très tenace; il fond dans l'eau bouillante, se dissout dans l'essence de térébenthine. Sa combustion donne lieu à une flamme blanche, qui dégage beaucoup de chaleur, et à la formation de fumées rutilantes, à odeur empyreumatique. Son résidu est entièrement charbonneux, c'est-à-dire qu'il ne renferme plus aucune matière bitumineuse.

Ce goudron n'est ni de l'asphalte, ni du naphte, ni du bitume, mais il a des

1. *Geological Magazine*, t. IV. p. 160.

propriétés communes à ces trois corps. Il se rapproche plus du naphte que des deux autres corps ; il en diffère en ce qu'il n'est pas soluble dans l'alcool.

JUDÉE

L'asphalte abonde en Judée, il s'élève continuellement du fond de la mer Morte ou lac Asphaltite à la surface des eaux ; les vents le poussent ensuite sur le rivage où, par son exposition à l'air, il prend une certaine dureté.

ÉTATS-UNIS

Dans ses recherches sur la géologie des territoires du Wyoming et du Colorado M. Hayden[1] signale une terre bitumineuse près du confluent de la rivière Verte (Green river) et du ruisseau Amer (Bitter creek). D'après une analyse de M. Carson elle contient :

Carbone fixe	3,73
Matière volatile	22,25
Eau	2,90
Silice	18,58
Acide sulfurique	5,88
Alumine	8,14
Sesquioxyde de fer	2,19
Chaux	14,11
Magnésie	7,11
Acide carbonique	17,40
	100,29

Cette terre forme un dépôt dont l'épaisseur est généralement supérieure à 1 mètre et dans lequel se distinguent de petites veines de schiste. On l'emploie comme combustible et elle brûle très bien dans les fourneaux. Il est probable que son sulfate d'alumine provient de pyrites qui étaient originairement mélangées à la couche de combustible et qui ont attaqué le schiste en se décomposant.

M. Fontaine[2] a décrit un remarquable gisement d'asphalte exploité dans le comté de Ritchie en Virginie occidentale. C'est un filon vertical qui traverse une série de grès et de schistes appartenant au terrain houiller improductif. Sa puissance est de $1^m,20$ dans les grès et se réduit à $0^m,75$ dans les schistes ; en même temps le filon présente un léger changement de direction lorsqu'il passe des grès dans les schistes. L'alignement est nord 12° ouest.

1. *American philosophical Society*, Philadelphie, t. XI, p. 43.
2. *American Journal*, 3e série, t. VI, p. 409.

On exploite le filon sur une étendue horizontale de 1000 mètres et sur une profondeur de 100 mètres. Il finit brusquement à la paroi d'une vallée perpendiculaire à sa direction; mais son prolongement vient tomber à angle droit sur la grande ligne de fracture qui détermine les gîtes du pétrole de Virginie.

La matière charbonneuse est formée d'une partie centrale terne avec deux salbandes brillantes et cristallines. A l'analyse elle donne :

Carbone	76,46
Hydrogène.	7,82
Oxygène	13,46
Cendres.	2,26
	100,00

Cette composition correspond à celle de la *grahamite*.

Il est à remarquer que les couches de terrain encaissant sont absolument exemptes de matières charbonneuses.

L'asphalte de Cuba est connu dans le pays sous le nom de *chapapote*. Il est quelquefois accompagné aussi de bitume visqueux et associé à des couches que l'on rapporte à l'époque tertiaire, en même temps qu'à de la serpentine; on en rencontre, dit-on, en divers points, sur une zone de plus de 500 kilomètres de longueur. Cet asphalte rappelle la houille par son état solide et son éclat; il a été comme elle utilisé comme combustible. Les puits forés pour son exploitation produisent, sur certains points, du pétrole et de l'hydrogène carboné.

Nouveau Brunswick. — Dans le Nouveau Brunswick, une sorte d'asphalte se trouve intercalée dans le carbonifère inférieur, dans lequel elle ne forme pas de couches régulières, mais des espèces d'amas. Ce combustible auquel on a donné le nom d'*Albertite* ou de *Houille-Albert* aurait, d'après M. Hitchcock[1], été originairement à l'état fluide, comme le pétrole par lequel il est d'ailleurs fréquemment accompagné. Le pétrole se serait durci et changé peu à peu en une substance noire amorphe, à cassure conchoïde, ainsi que cela a lieu pour l'asphalte du groupe de Québec, au Canada, et pour celui que M. Manross a observé près de Huetano, au Mexique.

GUADELOUPE

D'après M. Marcou, le lac de Brai (Pitch-Lake) est situé dans la partie sud-ouest de l'île, sur le golfe de Paria, à environ 2 kil. de la plage et à une hauteur de 51 mètres au-dessus du niveau de la mer.

L'existence du bitume sous-marin est encore prouvée par l'apparition de gouttes huileuses à la surface de la mer, gouttes qui ont une odeur empyreumatique très prononcée.

1. *American Journal*, t. XXXIX, p. 267.

JAVA

A Java de nombreuses sources de bitume, situées à proximité de sources thermales aillissent des terrains tertiaires dans le voisinage des volcans contenant du lignite.

§ IV. APPLICATIONS DES BITUMES

L'exploitation des mines d'asphalte se fait d'ordinaire par piliers et galeries à la poudre (aucun gaz explosif n'y étant à craindre), et la plupart du temps, les trous de mine peuvent s'y percer au moyen de simples tarières.

En effet, le minerai asphaltique est une matière relativement tendre ; toutefois, sa compacité étant en raison de l'abaissement de température, il a, dans l'intérieur des mines (où au contraire des mines de houille il fait ordinairement très frais), une dureté qui s'augmente au dehors pendant l'hiver et diminue pendant les chaleurs de l'été, à tel point qu'une simple exposition de quelques jours au soleil le fait tomber en poussière.

C'est même cette propriété bizarre qui a amené la découverte du système des chaussées en asphalte comprimé. Dans l'origine de son exploitation, les voitures qui transportaient le minerai du gisement du Val-Travers en laissaient tomber çà et là sur la route des morceaux qui, broyés et comprimés par les roues, avaient fini par former une véritable chaussée en asphalte[1].

Dès la plus haute antiquité les Égyptiens employaient l'asphalte à la conservation de leurs momies. On en fait surtout aujourd'hui des bitumes et des chaussées.

Comme on l'a vu, le bitume est souvent mélangé au calcaire, d'une manière telle qu'on ne l'en isole pas pour les besoins de l'industrie ; le calcaire est alors employé, sous le nom de *calcaire asphaltique*, dans la fabrication des mastics. C'est ainsi qu'on l'exploite en France, aux environs de Seyssel, dans le département de l'Ain, où certaines couches calcaires, appartenant à l'étage du terrain crétacé, connu sous le nom de néocomien, en sont, comme on l'a vu, partiellement imprégnées ; l'imprégnation s'est étendue jusque dans les couches tertiaires qui recouvrent ces dernières. Des couches tout à fait semblables se trouvent dans le département de la Savoie et dans le Jura suisse, mais ces dernières n'ont été, jusqu'à présent, que peu exploitées.

A la distillation sèche, la pyropissite de Saxe donne par tonne 20 à 25 kilogrammes de bitume que l'on traite pour en extraire la paraffine et les huiles minérales. Mais cette qualité pure est exceptionnelle et le plus ordinairement l'on a un charbon coulant qui ne donne que 12 kilogrammes de bitume. Pendant longtemps on a regardé ce charbon comme non susceptible d'emploi ; tout au plus s'en servait-on dans la fabrication des agglomérés. Mais maintenant il est exploité sur une grande échelle pour la fabrication de la paraffine et des huiles minérales.

1. Léon Malo, *la Nature*, 1881, 1er semestre, p. 150.

§ V. ORIGINE DES BITUMES.

Les bitumes peuvent provenir de la distillation naturelle de la houille ou des schistes bitumineux sur les points où ces roches se sont trouvées près des masses éruptives. Mais ils résultent, dans la plupart des cas, des réactions qui se produisent dans les profondeurs de l'écorce terrestre ou dans le voisinage des foyers volcaniques.

Certaines sources bitumineuses fonctionnent depuis si longtemps qu'on ne saurait s'imaginer des amas de houille assez puissants pour les alimenter. M. Virlet a calculé que, pour les seules sources de Xantes, depuis Hérodote, il n'eût pas fallu moins de 174 000 000 de quintaux de houille ; et comme leur écoulement est de beaucoup antérieur à cet historien, toutes les mines de houille de l'Angleterre réunies n'auraient pu suffire à alimenter, par leur distillation lente, les seules sources de cette île.

Le bitume, toujours en relation avec les gisements de soufre, de chlorure de sodium, de gypse, de sels ammoniacaux, etc., doit avoir une origine semblable à celle de ces substances.

Les expériences de MM. Morren et Berthelot ont rendu compte des phénomènes qui déterminent la formation des bitumes par combinaison de l'hydrogène et du carbone. L'acétylène, dont la formule est C^4H^2, se produit lorsqu'on fait passer de l'oxyde de carbone mêlé de vapeurs chlorhydriques ou du siliciure de magnésium chauffé au rouge. Les substances indiquées dans cette réaction peuvent évidemment exister dans la pyrosphère, et, par conséquent, cette réaction est susceptible de se manifester dans le voisinage immédiat des foyers volcaniques. « Chacun sait, dit M. Berthelot, quelle est l'indifférence chimique du carbone à la température ordinaire pour les agents les plus puissants ; cette indifférence ne cesse qu'à la température rouge, et pour l'oxygène et le soufre seulement. Mais, quant à l'hydrogène, toutes ses combinaisons avec le carbone, extraites des produits organiques, se détruisent précisément sous l'influence d'une température rouge. Je suis parvenu à obtenir de l'acétylène, en me servant de la pile et de l'arc électrique qui se produit entre deux pointes de charbon; dans une atmosphère d'hydrogène, avec élévation excessive de température et transport de charbon d'un pôle à l'autre, la combinaison de l'hydrogène avec le carbone s'effectue à l'instant dès que l'arc jaillit. »

Antérieurement à cette expérience, M. Morren avait obtenu un hydrogène carboné, sans en vérifier la nature spéciale, dans un ballon où se produisent l'étincelle de l'appareil de Ruhmkorff, en prenant des électrodes de charbon et en faisant circuler de l'hydrogène.

« Lorsque notre planète, dit M. Vezian, se trouvait encore à l'état nébuleux, l'hydrogène et le carbone, alors dissociés, occupaient chacun une zone distincte. Mais, dès que la température a commencé à s'abaisser, les diverses substances ont pu se combiner entre elles; le carbone et l'hydrogène ont donné origine, sous la seule influence des forces physiques, à des composés de divers ordres. Il a dû se former alors des masses considérables d'hydrocarbures qui ont été retenues prisonnières au-dessous de l'écorce terrestre primitive, absolument comme toutes les substances

qui plus tard devaient, grâce à l'action geysérienne, revenir à la surface du globe et contribuer à l'édification des masses sédimentaires. Telle est, selon nous, l'origine de l'huile de pétrole formant de vastes nappes souterraines dans l'Amérique septentrionale et d'autres contrées...

« En outre les hydrocarbures d'origine inorganique dont la formation remonte aux temps cosmiques, les terrains sédimentaires se montrent pénétrés de ceux qui naissent journellement dans les foyers volcaniques. Dans ces foyers se continuent, mais sur une plus petite échelle, les réactions chimiques qui ont eu lieu lorsque toute la masse du globe, encore dépourvue d'enveloppe solide, se trouvait à l'état incandescent. »

Il n'existe pour les substances hydrocarbonées aucune relation entre leur âge et leurs caractères physiques ou chimiques. Les variations qu'elles présentent quant à leurs divers caractères sont indépendants des terrains où elles se rencontrent; toutes les formations, depuis les plus anciennes jusqu'aux plus modernes, en possèdent des gisements. Les phénomènes qui leur ont donné naissance se manifestent indistinctement sous toutes les latitudes depuis les régions circumpolaires jusqu'à l'équateur.

CHAPITRE VIII

LES RÉSINES FOSSILES

Sous le nom de *résines fossiles* nous réunissons ici toute une série de substances hydrocarbonées ou oxhydrocarbonées dont le gisement est plus ou moins analogue à celui des bitumes.

Elles se répartissent en deux grands groupes dont les chefs sont le succin ou ambre, d'une part, et l'ozokérite, d'autre part. Au premier groupe appartiennent la siegburgite, la succinite, la copalite, la rétinite, etc. ; — au second, la schéererite, l'élatérite, la schraufite, la naphtaline, la hartite, la kœnlite, l'idrialine, etc.

§ I. AMBRE OU SUCCIN [1].

CARACTÈRES GÉNÉRAUX DU SUCCIN.

Substance d'origine organique, solide, résineuse, et d'une couleur jaune, qui varie du blanc jaunâtre ou jaune de miel et au jaune roussâtre. Son aspect est semblable à celui de la résine copal ; elle brûle avec flamme et fumée, en répandant une odeur résineuse plus ou moins agréable. C'est une véritable résine, analogue au copal, mais qui provient des conifères fossiles. Son origine végétale était admise par les anciens. Chauffée dans un matras de verre, elle fond à 287°, coulant comme de l'huile, et dégage de l'eau, une huile essentielle et un acide particulier (l'acide succinique). La fumée que produit le succin, recueillie dans le col du matras, se condense en petites aiguilles cristallines ou en une liqueur aqueuse qui rougit le papier de tournesol. La présence de l'acide succinique le distingue du mellite et de toutes les résines, fossiles ou végétales, qui lui ressemblent. Sa pesanteur spécifique est de 1,08. Par conséquent, il est presque aussi pesant que l'eau de mer, sur laquelle on le voit flotter quelquefois. Il est cassant, d'une dureté médiocre, et cependant il reçoit un assez beau poli. Il est composé à la manière des

1. Ambre jaune ; *Bernstein*, Werner ; *karabé*, du mot persan *karuba*, qui veut dire *tire-paille* ; *électron*, Hérodote et Thophrastre ; *succinum*, Pline.

substances végétales : de carbone 79, hydrogène 10,5 et oxygène 10,5, composition qui revient à la formule $C^{10}H^{8}O$.

Le succin est éminemment électrique par le frottement, et il acquiert ainsi de l'électricité résineuse. Il se présente presque constamment en masses mamelonnées ou en rognons disséminés dans des matières terreuses : ces masses sont ordinairement compactes à cassure conchoïde; souvent transparentes et quelquefois translucides ou même complètement opaques. Sa couleur varie du jaune miellé au jaune pur et au blanc jaunâtre. Parfois il devient d'un gris brunâtre, à raison des matières étrangères qui le souillent. On le trouve au milieu des sables, des argiles et des lignites qui appartiennent aux terrains tertiaires inférieurs, dans beaucoup de pays, mais notamment dans l'Allemagne septentrionale. Il se présente presque constamment en nodules disséminés dont la grosseur varie depuis celle d'une noisette jusqu'à celle de la tête d'un homme. Le plus gros échantillon connu est celui du musée de Berlin qui pèse 13 livres et a 14 pouces dans sa plus grande longueur. Quelquefois le succin est interposé en petites plaques dans les couches minces des lignites. Il renferme souvent des insectes, des feuilles, des tiges, etc.

COMPOSITION CHIMIQUE DU SUCCIN

Analyse de l'ambre jaune par Schrotter :

Carbone	78,82
Hydrogène	10,23
Oxygène	10,90
	99,95

GISEMENT DU SUCCIN

Haüy, dit que le succin, sur les côtes de la mer Baltique, dans la Prusse orientale, accompagne les cailloux roulés et surtout du bois fossile. Brard range cette substance, d'après sa nature chimique, au nombre des matières végétales, et indique son gisement dans les lignites ou bois bituminisés. Beudant, sans être plus explicite, déclare que les succins appartiennent aux mêmes formations que les lignites; Brongniart regarde le succin comme devant appartenir exclusivement aux terrains de dernière formation, notamment aux terrains sablonneux; suivant lui, il accompagnerait assez ordinairement les lignites et serait même adhérent à leurs masses.

Toutefois, cet illustre minéralogiste cite du succin disséminé en grains dans la houille du Groënland, au Kamtchatka et à Oslavan, en Moravie; mais M. Eugène Robert, d'après les échantillons qu'il avait rapporté de l'île de Disko et de l'île Melleville, dans la mer de Baffin, croyait que cette houille n'est autre qu'un lignite. Il avait porté le même jugement sur des morceaux de lignite roulés, recueillis par lui au Spitzberg, dans la rade de Bell-Sund et qui sortaient incontestablement d'une

espèce de molasse de la période paléothérienne de Cordier, laquelle roche était adossée à un terrain anthracifère dont les couches sont si singulièrement redressées en Scandinavie, en Laponie, au Spitzberg, etc. Le succin se présente en grains plus ou moins gros dans ce lignite. M. Eugène Robert a noté à Arkhangel les mêmes particularités, dans le lest d'un navire russe, au retour d'un voyage à la Nouvelle-Zemble, et d'après ces faits, il est probable que le succin signalé par Pallas sur les rivages de la mer Glaciale, dans le golfe de Kara, et qu'il associe à la houille, se trouve dans les mêmes conditions que celui du Groënland, du Spitzberg et de la Nouvelle-Zemble.

Environs de Paris. — Le succin, quoique en grains fort petits, est fréquent dans les formations ligniteuses tertiaires et, par exemple, aux environs de Paris. Auteuil et Vaugirard dans la Seine; Meudon en Seine-et-Oise; Soissons dans l'Aisne; Genvry, près Noyon, dans l'Oise, peuvent être cités au hasard parmi les localités qui en fournissent.

Seine-Inférieure. — A Incheville, M. Varembault a observé un petit gisement d'ambre à la partie superieure de l'argile plastique[1].

Gard. — Dans le *Gard,* les lignites lacustres de l'étage dit *paulétien* contiennent très fréquemment du succin en petites mouches et quelquefois en morceaux de forme ovale ou arrondie qui atteignent la grosseur d'une noix et même la grosseur du poing. Cette substance est de couleur jaune foncé, à cassure brillante dans le centre des morceaux, mais terne et opaque à l'extérieur, comme si elle avait éprouvé quelque altération. Cependant ses caractères chimiques et sa propriété électrique sont absolument les mêmes que ceux du succin de la Poméranie.

Les mineurs s'en servent comme d'un parfum propre, selon eux, à purifier l'air, et ils le brûlent pour assainir les pièces où ils élèvent des vers à soie.

Le succin est toujours très commun dans les mines du bassin de Pont-Saint-Esprit. Aux exploitations de Mézerac, près de Saint-Julien et de Carsan, dans le bassin de la Tave, à l'exploitation du Pin, on en trouve assez souvent des morceaux de la grosseur d'un œuf.

Au reste, dans toutes les exploitations, et sans distinction de couche, cette substance se présente généralement en petites mouches.

A Mézerac, elle remonte même dans les calcaires qui séparent les couches de combustible.

La présence du succin dans ces lignites est très caractéristique : jamais, en effet, on n'a trouvé cette résine fossile dans les lignites tertiaires lacustres des bassins d'Uzès, de Barjac, de Vénijcan et de Piolène.

Alsace. — A Lobsann (Alsace), on trouve dans le lignite de très fréquents grains de succin; ils sont arrondis et leur dimension, qui excède rarement la grosseur d'un pois, est souvent égale à celle d'une tête d'épingle. Ils sont jaunes et ordinairement transparents. On a noté leur association aux débris de conifères qui peut contribuer à y faire voir le produit de la fossillisation d'une résine.

1. *Revue de géologie,* t. XI, p. 22.

Loin d'être une rareté dans cette localité, ainsi qu'on l'a cru, le succin y forme, dans certaines couches de lignite, de petits grains extrêmement nombreux. Dans un morceau d'un décimètre cube, on peut compter jusqu'à 40 de ces gouttelettes.

Baltique. — D'après un sondage fait sous la direction de M. Berendt[1], l'ambre qu'on exploite sur les bords de la mer Baltique se trouve vers 43 mètres de profondeur, dans une argile bleue, située au-dessous des lignites.

A l'époque éocène, l'emplacement de la mer Baltique était occupé par une immense forêt qui comprenait presque tout le continent du Nord. On a retrouvé, en draguant à 2 mètres au desous du fond de la mer, trente-deux espèces de conifères, un peuplier, un aulne, deux saules, un châtaignier et des genévriers. Des conifères découlait une résine qui, ayant subi une transformation dans le sein de la terre, est devenue l'ambre : C'est le *Pinus succinus* qui en a donné la plus grande quantité. Plus de douze cents espèces d'objets ont été trouvés dans l'ambre, tant animaux que plante et minéraux. Les insectes surtout sont en grande quantité. Quant à la présence des reptiles, qui avait été annoncée, elle reste problématique, suivant l'expression de M. Sauvage[2].

On exploite l'ambre par mines : on le ramasse aussi avec le scaphandre au fond de la mer ; autrefois on le trouvait sur les berges après les orages, mais ce mode de récolte n'est plus usité. L'ambre est de droit régalien. En Prusse, nul ne peut fouiller sa propriété sans payer un droit au gouvernement ; — ce qui rapporte à celui-ci 600 000 francs par an. La location se fait par arpents, par année ou par semaine.

ORIGINE DU SUCCIN

M. Eugène Robert rattache la présence du succin dans les lignites des côtes de la mer Baltique du Spitzberg, du Groënland, etc., aux échouements de bois flottés, qui sont ordinairement des conifères, sur les mêmes côtes, et déduit de ce rapprochement que le succin n'a sans doute pas une autre origine. « Est-ce que, par exemple, dit-il, cette substance n'était pas susceptible de suivre en mer le même chemin que les arbres d'où elle s'était écoulée? De même que nous avons rencontré fréquemment, en parcourant les côtes de l'Islande, des fragments d'écorce détachés des mêmes arbres par le choc des glaces, nous n'avons pas été surpris de trouver au milieu de ces épaves végétales des morceaux de résine. Si quelque chose doit surprendre dans cette occurence, c'est de n'en avoir pas vu ; mais nous ferons remarquer que cette substance, dans le cas où elle viendrait à échouer sur les rivages en question, comme cela a dû se passer pour le succin sur les côtes de Dantzig, à la suite des tempêtes qui bouleversent les bas-fonds de la Baltique, la résine, disons-nous, doit-être soigneusement recueillie par les pauvres habitants de ces contrées inhospitalières (Islande), qui passent la plus grande partie de leur temps sur le bord de la mer, et qui ne vivent, pour ainsi dire, que

1. *Neues Jahrbuch*, 1873, p. 380.
2. *La Nature*, 1876, 2e semestre, p. 373.

de ce qu'elle abandonne. On doit comprendre, d'après cela, l'importance que nous attachons à la question de savoir si le succin accompagne seulement les lignites, ou s'il se trouve indifféremment dans ce combustible et dans la houille ; car, étant convaincu que le surtarbrand de l'Islande n'est composé que de conifères, nous sommes fortement porté à croire, en résumé, que le succin, en quelque lieu qu'il se trouve, appartient exclusivement aux lignites, et que de tout temps il s'est lié étroitement au charriage des bois flottés[1]. »

On remarque de même à Lobsann (Alsace) que c'est dans les lits qui renferment du charbon de bois de conifères, que l'on trouve le plus abondamment des grains de succin. Cette association, rapprochée de la propriété habituelle aux conifères de sécréter abondamment de la résine, amène à reconnaître clairement l'origine du succin de Lobsann. Comme confirmation on peut ajouter que lorsqu'on examine les fibres de ces conifères avant qu'elles aient été calcinées, leurs ponctuations sont d'un jaune miel; ce qui montre qu'elles sont encore imprégnées de substances résineuses. Du succin est venu quelquefois aussi envelopper les faisceaux fibreux des palmiers.

SUBSTANCES VOISINES DE L'AMBRE

Siegburgite. — M. de Lasaulx[1] a proposé de nommer *Siegburgite* une résine qui a été trouvée dans un grès vert recouvrant le lignite de Siegburg, sur le Rhin inférieur. Elle a une couleur qui varie du jaune au brun et à l'hyacinthe. En brûlant, elle répand une odeur empyreumatique. Sa dureté est celle de l'ambre. A la distillation, elle donne une huile jaune verdâtre, mais pas d'acide succinique. Elle ne se dissout pas complètement dans l'alcool ni dans l'éther. M. de Lasaulx a trouvé pour sa composition :

Carbone	81.37
Hydrogène	5.26
Oxygène	13.37
Total	100.00

Une autre analyse a donné des résultats notablement différents. Quoi qu'il en soit, cette résine est riche en carbone et elle contient aussi beaucoup d'oxygène. M. de Lasaulx la rapproche de la *krantzite* de M. Landolt, de la *rosthornite* de M. Höfer, du *copal* trouvé dans l'argile de Londres, et d'une resine analysée par M. Boussingault.

La *siegburgite* forme dans le sable supérieur au lignite, des concrétions dans lesquelles elle sert de ciment et qui ressemblent à celles du lœss. Sa proportion dans ces nodules peut s'élever à 54 p. 100.

Succinite. — Brongniart a donné ce nom à une résine fossile qui sessemble au

1. Eugène Robert, extrait du journal *les Mondes*, 13 mai 1869.
2. *Neues Jahrbuch*, 1875, p. 132.

succin, et ne paraît en différer que parce qu'elle est presque entièrement dépourvue de l'acide particulier qu'on nomme *acide succinique*, et qu'on trouve en quantité plus ou moins grande dans le succin proprement dit. Ce succin résinoïde, comme l'appelle aussi Brongniart, est plus ancien que le vrai succin; il paraît appartenir, comme celui de l'île d'Aix, par exemple, à la formation crétacée, accompagnant les lignites de ce terrain.

Beauvoisin avait déjà donné le nom de succinite à une variété de grenat jaune, dont l'aspect rappelle aussi celui de la résine.

Copalite[1]. — Au milieu des argiles tertiaires de la colline de Highgate, près de Londres, on a trouvé en masses assez considérables une résine fossile, qui ressemble beaucoup à la résine copal, et dont la couleur est d'un brun foncé ou d'un jaune clair qui rappelle l'aspect de la résinite de Walchow. Elle brûle avec une odeur aromatique, et fond sans éprouver de décomposition. Elle est peu soluble dans l'alcool. Elle ne contient que très peu d'oxygène (2,7), et les autres éléments sont dans la proportion de 85,4 de carbone et 11,7 d'hydrogène.

Rétinite[2]. — Substance jaune ou d'un brun clair, terreux, d'un aspect gras, très fragile, et qu'on trouve en rognons, au milieu des lignites, en Angleterre, dans le nord de l'Allemagne et en Amérique. Elle a de la ressemblance d'une part avec les bitumes, et de l'autre avec les résines fossiles, telles que la copalite et le succin : de là les noms de Rétinasphalte et de Bernerde (terre succinoïde) qu'on lui donnés. Hatchett l'a découverte dans les lignites bruns de Bovey, en Devonshire, et la croyant composée de résine et d'asphalte, il lui donna le nom de Rétinasphalte, que Breithaupt depuis a changé en celui de Rétinite. Sa pesanteur spécifique varie de 1,05 à 1,15. Sa composition est aussi variable, comme on doit s'y attendre, d'après l'origine de cette substance. La variété jaune et écailleuse de Moravie a donné à l'analyse : Carbone 80,4; hydrogène 10,7; et 8,9 d'oxygène. Cette composition répond à la formule $C^{12}H^{9}O$.

La rétinite brûle avec une odeur aromatique; avant de fondre, elle devient élastique comme le caoutchouc. Elle est plus soluble dans l'alcool que le succin.

§ II. **Ozokérite** (Glocher).

Composition atomique : CH, ou en poids :

Carbone.	85,7
Hydrogène.	14,3
	100,0

Substance semblable à de la cire par sa consistance et sa translucidité, et d'une odeur aromatique assez agréable, propriétés qui lui ont valu son nom de cire odo-

1. Résine de Highgate.
2. Résine asphalte *Bernerde*, Werner.

rante ; d'un vert de poireau ou d'un brun verdâtre par réflexion, et d'un brun jaunâtre par transmission de la lumière. Pesanteur spécifique 0,96. Elle est généralement amorphe, mais quelquefois avec des traces de structure fibreuse. Elle fond assez facilement vers 80° en un liquide huileux de couleur claire. A une température plus élevée elle s'enflamme et brûle sans laisser de résidu. Elle est aisément soluble dans l'huile de térébenthine, mais difficilement dans l'alcool et dans l'éther.

L'ozokérite a été découverte par Meyer à Slanik, en Moldavie, dans un grès accompagné de lignite et de sel gemme. Elle y est en si grande abondance, que les habitants de ce pays, s'en servent pour l'éclairage. On la trouve aussi dans le grès des environs de Vienne, en Autriche, à Baryslan, dans le Caucase, et spécialement dans l'île de Tchelekène, où la substance qui nous occupe, connue sous le nom de *naphtaguil*, est exploitée en petits nids dans des couches d'argile sablonneuse; en Galicie particulièrement, près de Mœhrish-Œstran, où on l'exploite pour la fabrication de la paraffine, et à la mine de charbon d'Urpeth, près de Newcastle, en Angleterre.

SUBSTANCES VOISINES DE L'OZOKÉRITE

Schéerérite (Stromeyer). — Composition atomique : CH^2, ou en poids :

Carbone	75
Hydrogène	25
	100

Substance molle d'un aspect gras et d'un éclat généralement nacré, formé de petites écailles ou lamelles courbes, comme celles du blanc de baleine; fusible à 44°; soluble dans l'alcool, et cristallisant par évaporation en aiguilles entrelacées, de couleur blanche ou grise. Elle a été découverte par Schéerer dans les fissures d'un lignite brun à Uznach, près de Saint-Gall, en Suisse.

Elatérite (bitume élastique ; caoutchouc fossile). — Composition semblable à celle de la schéerérite.

Substance d'un brun noirâtre ou jaunâtre, tirant quelquefois sur le verdâtre, molle et élastique, fusible à une température peu élevée, en une matière visqueuse; brûlant avec fumée noire et bitumineuses. On l'a trouvée dans les filons de plomb d'Odin, près de Castleton, en Derbyshire, et on l'a retrouvée depuis dans les veines de quartz et de calcaire qui traversent les couches de houille de Montrelais (Loire-Inférieure).

Elle existe aussi aux États-Unis, au milieu d'un calcaire bitumineux, à Woodburg, dans le Connecticut.

Schraufite. — En Dalmatie, dans la Bukowine, on trouve une résine fossile à laquelle on adonné le nom de *schraufite*. C'est aux environs du village de Wamma

que se trouve ce gisement. Ce combustible ressemble beaucoup aux bitumes qui imprègnent les roches dans la Galicie, à Hoffein, dans le sud de l'Autriche et en Bohême.

C'est dans un filon de grès schisteux de près de deux mètres d'épaisseur et qui traverse les couches à pétrole de Ropiauka, que se trouve cette résine fossile. Elle forme des cordons, dont la grosseur dépasse souvent 10 centimètres. Sa densité varie de 1 à 1,12. Sa couleur est rouge, et 4,5 pour 100 d'eau s'y trouvent combinés; ce qui empêche de la travailler. Son point de fusion est 326 degrés. Fondue, elle laisse dégager des gaz avec abondance, et toute sa substance entre en décomposition. L'alcool n'en dissout qu'une petite quantité; il en est de même du chloroforme et de la benzine. Au contraire, l'acide sulfurique dissout entièrement la *schraufite*. On peut fabriquer des savons avec cette résine fossile.

Distillée, elle laisse comme un résidu, une espèce de colophane rouge-brun, qui fournit un brillant vernis quand on la mêle à la térébenthine.

Naphthaline. — Composition atomique $C^{20}H^{8}$, ou en poids :

Carbone	93,76
Hydrogène	6,24
	100,00

Substance blanche, cristalline, d'un éclat gras, et d'une odeur particulière, douce et onctueuse au toucher, qu'on extrait du goudron de houille, en soumettant celui-ci à une nouvelle distillation.

Elle cristallise en lames rhomboïdales, extrêmement minces, dont l'angle obtus est de 108 à 109°. Elle est insoluble dans l'eau, mais se dissout facilement dans l'alcool. Sa tension de vapeur est faible et elle s'évapore dans l'air aux températures ordinaires, comme le camphre, mais plus lentement. Elle fond à 79°, entre en ébullition à 212°, et se sublime. Elle brûle avec une flamme fuligineuse. Elle s'est produite en petites quantités dans quelques houilles embrasées.

Hartite (Haidinger). — Composition atomique : $C^{6}H^{5}$, ou en poids :

Carbone	87,8
Hydrogène	12,2
	100,0

Substance blanche, semblable à de la cire, composée de petites écailles ou lamelles hexagonales, qui paraissent dériver d'un prisme klinorhombique de 100° (Haidinger). Elle se rapproche de la schéérérite, dont elle se distingue par sa cristallisation, sa température de fusion (74°) et une proportion de charbon plus considérable. Comme cette dernière substance, on la trouve dans les fissures des lignites, à Oberhart, près Gloggnitz, dans la basse Autriche, et à Rosenthal, près Köflach, en Styrie.

Kœulite (Schrötter). — Composition atomique C^2H : ou en poids :

Carbone.	92,3
Hydrogène.	7,7
	100,0

Cette substance ressemble à la schéerérite, et se rencontre avec elle dans les lignites d'Uznach; mais elle ne commence à fondre qu'à 108°. Elle cristallise en petites lamelles ou en aiguilles, dont les formes paraissent se rapporter, comme celles des deux espèces précédentes, au système klinorhombique.

Idrialine (Dumas). — Composition atomique C^3H, ou en poids :

Carbone.	94,9
Hydrogène.	5,1
	100,0

Substance blanche, cristalline, en petites lames ou paillettes micacées, semblable à du blanc de baleine, et qui est contenue dans le minerai de mercure d'Idria, appelé *Branderz* (ou idrialite). Ce dernier minerai est un schiste bitumineux d'un noir brunâtre, à poussière tirant sur le rouge ; d'un aspect gras, contenant plus ou moins de cinabre (jusqu'à 18 pour 100), et composé essentiellement d'idrialine, avec quelques parties terreuses ou pyriteuses. Ce schiste est inflammable : de là le nom de branderz que lui donnent les Allemands : il brûle facilement avec fumée, en exhalant une odeur sulfureuse, et abandonnant une cendre d'un brun rougeâtre. Ce schiste, quand on le chauffe dans un tube de verre, mais pas assez pour l'enflammer, fournit une foule de paillettes cristallisées qui sont la substance appelée *idrialine* par M. Dumas. Mais, parce qu'on parvient aussi à l'extraire du schiste au moyen de l'huile de térébenthine bouillante, il est probable qu'elle est toute formée dans le minerai d'Idria. Cette substance est peu soluble dans l'alcool, et elle ne fond qu'à une température assez élevée.

CHAPITRE IX

LE PÉTROLE

§ I. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU PÉTROLE.

Le naphte est une substance fluide comme l'alcool, incolore ou présentant une teinte jaunâtre peu prononcée, ne laissant à la distillation, aucun résidu lorsqu'il est pur, d'une odeur faiblement bitumineuse, très inflammable, insoluble dans l'eau. Il dissout l'asphalte et passe ainsi de la liquidité la plus complète aux espèces visqueuses et solides.

Le pétrole est considéré comme du naphte contenant de l'asphalte en dissolution. C'est une substance d'un jaune brunâtre plus ou moins foncé, moins fluide que le naphte et passant à l'état sirupeux. Son odeur est plus forte que celle de naphte.

Lorsqu'il est pur, le pétrole est très inflammable. Sa densité est de 0,8. Il ressemble à une huile odorante et volatile. Il s'enflamme à distance par le moyen de sa vapeur; lorsqu'on en approche suffisamment un corps enflammé, il prend feu aussitôt, comme ferait l'alcool, donne une flamme bleuâtre, une fumée épaisse, et ne laisse aucun résidu. Lorsque le naphte a été exposé à l'air pendant longtemps, il s'épaissit, s'altère, et paraît se rapprocher alors du pétrole naturel. La composition de ces huiles minérales n'est donc pas constante. Celles qui semblent offrir le naphte dans son plus grand état de pureté, et qui distillent presque entièrement sans laisser de résidu, à une température d'environ 90°, paraissent avoir une composition qui correspond assez bien à la formule CH ; ce seraient donc des isomères du gaz oléfiant au percarbure d'hydrogène. Celles qui sont impures et moins volatiles renferment un peu moins d'hydrogène. On distingue deux variétés principales de bitume liquide, ou d'huile minérale : le naphte proprement dit et le pétrole.

Naphte. — Transparent, incolore ou très légèrement coloré en jaune. Insoluble dans l'eau, mais soluble dans l'alcool. Dissolvant les résines et l'asphalte. Très rare. Le plus pur est celui des bords de la mer Caspienne.

Pétrole. — De couleur brune ou d'un rouge noirâtre, d'une consistance visqueuse, et d'une fluidité plus ou moins grande, mais qui augmente par la chaleur. C'est le bitume liquide le plus commun : il diffère du naphte en ce qu'il laisse pour

résidu de la distillation une matière bitumineuse volatile qui paraît être identique avec l'asphalte; c'est donc une sorte de bitume qui tient le milieu entre le naphte et l'asphalte, et peut-être, comme on l'a déja dit, du naphte mêlé d'asphalte.

§ II. COMPOSITION CHIMIQUE DU PÉTROLE.

Divers pétroles des États-Unis ont présenté la composition suivante :

Carbone.	86,4	87,86	87,83	88,58	88,90
Hydrogène. . . .	12,7	12,14	12,30	11,54	11,09
	99,1	100,00	100,13	99,92	99,99

§ III. COMPOSITION IMMÉDIATE DU PÉTROLE.

Les résultats de l'analyse purement chimique sont rendus plus intéressants encore par ceux auxquels conduit l'analyse immédiate.

En voici une que l'on doit à M. Sherdon Muspratt et qui se rapporte à un pétrole brut du Canada :

Naphte de couleur claire (densité = 0,794).	20
Naphte jaune et lourd (densité = 0,837).	50
Goudron (pissasphalte).	5
Charbon.	1
	98

MM. Cahours et Pelouze ont fait les observations suivantes au sujet du pétrole provenant de l'Amérique septentrionale.

« Dans les échantillons nombreux qui nous sont parvenus de sources assez diverses, nous n'avons jamais rencontré, disent-ils, ni benzine, ni aucun de ses homologues, ce qui semblerait indiquer qu'on ne saurait faire dériver ces carbures de la houille, ou que, s'ils en proviennent, il faudrait admettre que cette substance aurait éprouvé une décomposition différente de celle qu'elle subit lorsqu'on la soumet à une distillation lente ou rapide, effectuée à une température basse ou élevée. Ces produits ressemblent beaucoup, au contraire, à ceux qui se forment lorsqu'on soumet à des températures élevées les divers acides gras et les alcools qui leur correspondent, ainsi qu'une foule de corps organiques, qui renferment le carbone et l'hydrogène dans les rapports d'équivalent à équivalent, ou dans des rapports très rapprochés de ceux-là. »

§ IV. — GISEMENT DU PÉTROLE.

Italie. — En Italie, où depuis bien longtemps on connaissait des sources de pétrole, des études géologiques intéressantes ont été faites sur les diverses régions principales qui présentent du bitume : la Sicile, l'Abruzze citérieure et l'Émilie, mais ces gisements, remarquables au point de vue théorique, sont peu productifs.

Comme le fait observer M. Jervis[1], le pétrole se rencontre dans beaucoup de localités de l'Italie et particulièrement dans les Apennins. Habituellement il sort des couches pliocènes et pleistocènes. Il se trouve par exemple à Montechiaro, près Plaisance, à Amiarro, près Parme, à Pietramala, près Florence, ainsi que dans les environs de Modène.

Alsace. — Deux des sondages faits le long du Freichgraben ont donné de l'eau qui s'est élevée jusqu'au niveau du sol en apportant du pétrole.

L'une des veines de sable bitumineux de Schabwiller a été exploitée pendant une dizaine d'années de la manière suivante : l'eau qui, en traversant cette couche, entraînait mécaniquement du pétrole était aspirée hors d'un puits tubé en tôle au moyen d'une pompe. L'huile minérale se séparait ensuite elle-même de l'eau, comme étant plus légère; il suffisait donc de décanter. La production annuelle du puits dont il s'agit n'a jamais dépassé 45 hectolitres de pétrole.

Une source de pétrole d'un volume considérable a été découverte en 1879, dans les mines de bitume de Bechelbronn, situées près de Soultz-sous-Forêts. L'huile, se frayant avec force un passage, a comblé bientôt le puits qui avait été creusé dans le but de rechercher une nouvelle source; elle s'est répandue ensuite dans la principale galerie et de là dans les galeries adjacentes. Au bout de quatre jours, l'huile affluant sans cesse, les puits André et Henri, qui sont réunis entre eux par une galerie étaient remplis.

Dans le premier de ces deux puits, le pétrole avait atteint une hauteur de 12 mètres et s'est maintenu à ce niveau, bien que l'extraction du liquide eût été immédiatement commencée. On compte, en tout 900 mètres de galeries remplies d'une quantité d'huile équivalant à 1780 mètres cubes.

Comme pour les autres sources moins considérables qui avaient été découvertes antérieurement, l'irruption a été accompagnée de fortes exhalaisons de gaz.

Hanovre. — Dans le Hanovre et dans le Brunswick il existe des sources de pétrole. D'après M. Eck[2] elles sont dans le néocomien et au niveau du Hills moyen, qui correspond aux marnes d'Hauterive.

Les plaines basses du Hanovre, entre l'Elbe et le Weser, présentent de nombreux gisements de pétrole ; ce dernier n'y forme pas de véritables sources, mais il se trouve disséminé dans des sables. Depuis un temps immémorial on le recueille en

1. *The mineral ressources of Italy*, p. 87.
2. *Deutsche geologische Gesellschaft*, t. XXXIII, p. 277.

creusant de petits puits dans ces sables; l'eau qui s'y rassemble entraîne avec elle des gouttelettes de pétrole qui viennent surnager à la surface à cause de leur faible densité et que l'on peut alors recueillir facilement.

Depuis que les applications du pétrole se sont multipliées, on a essayé d'employer ce procédé sur une grande échelle; toutefois on fut bientôt obligé d'y renoncer faute d'un rendement suffisant. De même qu'en Amérique, on s'est, au contraire, très bien trouvé de l'emploi de la sonde pour la recherche du pétrole.

M. Saint-Just Dru, ayant été chargé de désigner les emplacements dans lesquels les sondages présenteraient quelque chance de succès, s'est laissé guidé surtout par l'étude des failles. D'abord la carte géologique du pays montre qu'entre le Hanovre et le Brunswick, le trias et le grès bigarré sont relevés suivant une ligne orientée nord-sud. De plus, on rencontre au voisinage de cette ligne de nombreuses sources minérales qui sont riches en sel marin. C'est d'ailleurs à peu près sur cette ligne que se trouvent les villes de Gœttingue et de Lunebourg, dans lesquelles il existe aussi des sources minérales.

Il était donc assez naturel de faire les sondages pour la recherche du pétrole dans le voisinage de la ligne nord-sud dont nous venons de parler. Et en effet, de part et d'autre du chemin de fer, le pétrole a été rencontré à des profondeurs qui sont seulement d'une vingtaine de mètres. Comme le remarque M. Dru, le pétrole qu'on trouve en Hanovre dans les sables et dans les terrains voisins de la surface n'est plus dans son gisement originaire; ce sont les eaux des nappes souterraines qui l'ont entraîné à des distances variables de ses points d'émergence et qui l'ont répandu par infiltration dans ces terrains.

En réalité, dans le Hanovre son gisement primitif est dans le trias et même au-dessous; par suite, les points dans lesquels il est venu au jour doivent être recherchés au voisinage des sources minérales salées et le long des lignes de dislocation du trias.

Le pétrole suinte à travers les schistes noirs et compacts du lias sur divers points des environs de Lunebourg, notamment près de Wülfel, Sehnde, Oberg, Hanigsen, Obbershagen, et surtout près de Wietze, Hornbostel et Steinforde. Suivant M. Karsten, le pétrole n'est pas exclusivement limité aux couches du lias, comme l'avaient cru jusqu'à présent la plupart des géologues; des sondages faits à Sehnde et à Hänigsen ont montré que de 50 à 100 mètres de profondeur, l'on atteint les marnes irisées, le muschelkalk et le grès bigarré qui sont également imprégnés de pétrole.

On a constaté notamment que le grès bigarré en est complètement saturé et qu'il dégage une grande quantité d'hydrogène carboné gazeux. De plus, au lieu d'être noir, épais et bitumineux comme celui qui est à la surface du sol, le pétrole qu'on rencontre dans la profondeur est fluide, vert et semblable à celui de Pensylvanie.

Galicie. — La partie de la Galicie qui borde, vers le nord, la chaîne des Karpathes renferme une série de gîtes de pétrole, qui s'étendent dans la région orientale de cette province et en Bucovine.

Les localités dans lesquelles on a découvert le pétrole, constituent une zone qui, mesurée parallèlement à la chaîne, a une longueur d'environ 250 kilomètres. Dans cette étendue, on a ouvert depuis 1858, un certain nombre d'exploita-

tions régulières. D'autres, en très grand nombre et situées surtout dans la partie orientale, consistent seulement en orifices peu profonds que creusent les paysans. Il n'y a pas moins de 5000 de ces petits bassins, répartis dans une douzaine de localités des environs de Baryslow.

Le pétrole de la Galicie se trouve dans les terrains tertiaires. D'après M. de Hochstetter, ils appartiendraient à l'étage inférieur, dans la partie occidentale, et à l'étage moyen ou miocène, dans la région occidentale. Les gîtes sont disposés sur une ligne de fractures parallèles aux Karpathes et, dans quelques points, en relation avec des sources thermales. Ils sont ainsi associés à du sel gemme.

D'après Félix Foucou [1], en jetant les yeux sur la carte géodésique de la Galicie, on voit que la composition des terrains est la même sur les deux versants de la chaîne des Karpathes. En même temps, si l'on observe les positions des gîtes de pétrole dans la Galicie occidentale, dans la Galicie orientale, dans la Bucovine et jusqu'en Moldavie, on constate que ces gîtes courent d'abord à peu près de l'ouest à l'est, pour s'infléchir ensuite brusquement vers le sud-est, c'est-à-dire qu'ils suivent exactement la direction de la chaîne. Aussi les trois régions d'huiles minérales qui viennent d'être citées n'en font-elles qu'une.

Les localités dans lesquelles on a découvert le pétrole en Galicie sont groupées au sud du chemin de fer de Cracovie à Lemberg. La distance qui sépare les deux points les plus éloignés de l'ouest à l'est est d'environ 200 kilomètres. Du nord au sud, la zone pétrolifère mesure 70 kilomètres au plus. Dans ce rectangle très irrégulier, qui représente plus d'un million d'hectares de superficie, on ne compte guère plus de vingt-cinq exploitations régulières. Les autres, en très grand nombre et situées surtout dans la partie orientale, ne méritent pas le nom d'exploitation, bien qu'en ce lieu la terre soit littéralement criblée d'orifices pratiqués par les paysans à de très petites profondeurs.

Les terrains dans lesquels on recueille le pétrole des Karpathes sont généralement des schistes plus ou moins sableux ou argileux et plus ou moins imprégnés de produits hydrocarburés. Tout le versant septentrional et oriental des Karpathes appartient à la formation crétacée. Celle-ci est recouverte sur les versants polonais et hongrois par du grès karpathique ; du côté de la Pologne, le grès à nummulites apparaît, bientôt suivi d'autres couches éocènes.

C'est dans le terrain tertiaire inférieur dont il s'agit que se trouvent les gîtes de pétrole ; le contact de l'éocène et du miocène est marqué vers Starasol et Drohobycz par des gisements où le sel gemme et le bitume sont intimement associés.

Principautés danubiennes. — Dans les principautés danubiennes, le pétrole appartient encore au terrain tertiaire. Les gîtes bitumineux des provinces danubiennes, de même que ceux de la Galicie bordent la chaîne des Karpathes.

On remarque que sur cent puits forés pour recueillir le pétrole, la moitié à peine rencontre cette substance ; ce qui montre que les zones oléifères sont très étroites et séparées par des terrains stériles. Les puits ne sont séparés les uns des autres que par un intervalle de 20 mètres, et seraient plus raprochés encore si les règlements n'imposaient pas cette distance ; il est indispensable d'en agir ainsi pour

1. *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, 1867.

drainer tout le pétrole car les argiles qui le renferment ne lui permettent pas de se mouvoir facilement. En général, on considère comme excellent un puits qui donne 500 litres par jour, pendant la première année. Au-dessous de 350 litres, le puits est considéré comme médiocre.

On ne connaît dans cette région de l'Europe aucun exemple de pétrole jaillissant des puits, comme aux États-Unis; dans les Karpathes, il suinte tranquillement des parois. La pauvreté en pétrole des terrains de la Moldavie et de la Valachie, ne permet pas d'exploiter au moyen de la sonde : on pratique un puits circulaire de un mètre de diamètre. Quand le pic a entamé les couches à pétrole, le dégagement du gaz hydrogène carboné est quelquefois assez abondant, pour causer l'asphyxie de l'ouvrier qui travaille au fond du puits.

Ayant étudié les gisements de pétrole de la Valachie, M. Capellini[1] est arrivé aux conclusions suivantes :

Le pétrole se trouve disséminé à plusieurs niveaux se rapportant à l'éocène et au miocène. En général la richesse des gisements diminue en raison de leur plus ou moins grande antiquité géologique.

Les divers bitumes qui accompagnent le pétrole sont les résultats de la condensation ou de l'altération du pétrole lui-même, ainsi que les émanations de gaz hydrogène carboné qui, parfois, produit des phénomènes ayant quelque analogie avec ceux des véritables volcans.

Le pétrole se trouve associé au sel gemme, au gypse et quelquefois au soufre, sans que cette association implique dépendance ou dérivation.

Dans la Valachie, le pétrole et le sel gemme sont contemporains des couches dans lesquelles ils se trouvent et, suivant M. Capellini, ils n'ont pas été introduits postérieurement comme bien des personnes l'ont prétendu.

Ile de Zante. — A Chiéri, dans l'île de Zante, le pétrole apparaît suivant M. Coquand, dans une plaine très marécageuse ou les bulles de gaz, en venant crever à la surface de l'eau amènent au jour une certaine quantité d'huile. Un sondage poussé au-dessous des marais jusqu'à 150 mètres, n'a rencontré qu'une seule nappe pétrolifère enclavée dans une argile pliocène et dont le rendement s'est rapidement appauvri. On conçoit d'ailleurs que le dégagement de gaz qui se fait spontanément depuis des siècles dans cette localité, ait dû faire perdre à l'huile minérale la plupart de ces principes légers.

Russie. — Dans les dépôts du zechstein de l'ouest et du nord-ouest de la Russie se trouve un gisement de pétrole près du village de Sukéevo, ainsi que dans le gouvernement de Samara, près du village Mikhaïlovka, non loin des eaux minérales de Serguievsk, le long de la rivière Sok (près du village de Kamichli) le long de la rivière Chechma (près des villages Chougowova, Sarabikoulova) et au point de partage des eaux de la Sok et de la Chechma, près des villages de Jakouchkino et de Novo-Semeïkino.

Dans toutes ces localités les dépôts de pétrole sont subordonnés au grès permien. Le pétrole se montre partout à la surface du sol; l'existence des bassins souterrains

1. *Giacimenti petroleiferi di Valacchia;* Bologne, 1868.

n'a pas été constatée jusqu'à présent, quoique les puits de forage aient dépassé la profondeur de 200 mètres. Le pétrole arrive par infiltration jusqu'à la terre végétale et jusqu'aux alluvions, et les imbibe sur une étendue considérable en formant des dépôts connus sous le nom de *kire*. La teneur de ces terres en matières combustibles est d'environ 50 pour 100. Les dépôts de kire existent dans les villages de Mikhaïlovka et de Sarabikoulova. Dans ce dernier endroit on l'exploite pour le chauffage des locomobiles.

Au nord de la Russie, le naphte sort de couches dévoniennes. Sur les rives de l'Oukhta, affluent de l'Ichma, qui se jette dans la Petchora, on voit affleurer au milieu des couches dévoniennes une roche noire particulière qui contient 45 pour 100 de bitume. Les affleurements de cette roche, appelés « *domanik* », s'étendent le long de cette rivière sur une longueur de 13 kilomètres et atteignent une hauteur de 100 mètres. Les couches sont faiblement inclinées vers le nord-ouest. La roche est très friable et se sépare facilement en grandes tablettes. C'est cette roche qui, plongeant à une profondeur considérable, produit les sources de naphte connues sur les bords de l'Oukhta et de son affluent le Tchouth. Ces sources sont assez riches. En 1871, au bord de l'Ouchta, un puits de forage a été commencé par M. Sidoroff; en 1872, ce puits a atteint une profondeur de 52 mètres. Jusqu'à une profondeur de 12 mètres, le pétrole n'avait paru qu'eu petite quantité, mais plus bas on a rencontré les roches pénétrées de naphte. A 24 mètres on trouva de l'eau salée, et à 40 mètres le naphte reparut en abondance (700 kilogrammes par jour). A la profondeur de 55 mètres, le puits a été abandonné.

Caucase. — Le naphte et les produits de son altération se rencontrent sur les deux versants du Caucase. On les trouve du côté de l'est jusque dans l'île de Tchelekene, qui est sitée près de la côte orientale de la mer Caspienne dans le prolongement de la chaîne principale du Caucase, et qui est reliée par une ligne de rochers sous-marins avec la presqu'île d'Apcheron, la contrée du Caucase la plus riche en naphte.

A partir de ce point, les sources de naphte se divisent en deux groupes qui bordent le Caucase au nord et au sud.

Le groupe du nord comprend les sources de la chaîne de montagnes de Kaïtago-Tabassarane, du Daghestan septentrional et méridional, de la petite Kalarda et de Soundja, enfin les sources situées au delà du fleuve de Koubane, dans la péninsule de Taman et même dans celle de Kertch.

Au sud du Caucase, les principales sources se trouvent dans le district de Signakh, aux environs de Tiflis, dans le domaine de Gari et dans quelques points du gouvernement de Kutaïss.

La profondeur de la mer Caspienne au-dessus de la chaîne sous-marine qui relie la presqu'île d'Apscheron avec l'île de Tchelekene, ne dépasse pas 60 mètres, tandis qu'au nord et au sud elle atteint 850 et même 1000 mètres. L'île de Tchlekene, située au sud du golfe de Krasnowodsk-Balham, a la forme d'une ellipse, dont le grand axe est dirigé de l'est-nord-est à l'ouest-sud-ouest.

Au nord et au sud s'étendent deux langues de terres sablonneuses, et la partie centrale est formée par la chaîne de montagnes de Tchokrak. Les roches de l'île de Tchelekene appartiennent aux étages supérieurs du terrain tertiaire. Les sources

de naphte de Tchelekene sont confinées dans la région montagneuse de l'île. Le naphte est souvent accompagné par de l'eau salée et sulfureuse, d'où se dégagent en quantité plus ou moins grande des hydrogènes carbonés gazeux. Sur le sommet d'une colline se trouve le lac de Kara-Sitgui, dont l'eau est amère et salée; le naphte vient du fond du lac et s'accumule à la surface. Au moyen d'un sondage, on a réussi à obtenir une source jaillissante de naphte.

Outre le naphte noir, on en trouve du blanc, mais en très petite quantité.

La péninsule d'Apschéron, où s'arrête au sud-est la chaîne du Caucase, se compose de couches appartenant à la formation miocène et à la formation aralo-caspienne.

Les couches aralo-caspiennes, qui couvrent toute la partie est de la péninsule et qui s'étendent aussi à l'ouest, sont presque partout horizontales; elles consistent en calcaires coquillers, en sables argileux et en argiles. Au-dessous de ces couches, mais en stratification discordante, existent des couches d'argiles, de marnes et de grès, qui appartiennent aux étages inférieurs de la formation miocène. Ces couches sont brisées et ont parfois une forte inclinaison. Dans la région où elles s'étendent, on trouve des volcans de boue, des sources de naphte et d'eau salée. Elles dégagent aussi des gaz combustibles, qui pénètrent dans les couches supérieures plus ou moins poreuses.

Les mêmes couches forment aussi quelques îles dans le voisinage, par exemple l'île Sainte, à l'est de la péninsule, dont elle est séparée par un détroit étroit et profond de 6 à 9 mètres seulement.

Dans cette île, près d'une selle formée par les couches du miocène inférieur, on trouve des sources de naphte accompagnées de dégagements d'hydrogène carboné et d'hydrogène sulfuré. En outre, l'île contient de puissantes couches de kire (nom local comme on l'a vu, du résidu de l'évaporation du naphte). Le naphte est ici extrêmement épais et ne donne que 15 pour 100 de pétrole. On a cherché en vain, par des sondages, à obtenir une meilleure qualité de naphte, mais à une profondeur de 133 mètres, on a perdu celui des couches supérieures.

Les sources de naphte de la péninsule d'Apcheron se trouvent au nord, à l'ouest et au sud de la ville de Bakou. Le consul anglais Peacock dit que Bakou renferme beaucoup plus d'huile que les régions pétrolifères de l'Amérique. Voici les noms des sources principales: Sourahani, Balahani, Kirmakou, Binigodi, Massasir, Hourdalane, Bibi-Eibete, Kourguèse-Lambatane.

Près de Sourahani, à l'est du lac salé de Balahani, se trouvent les célèbres dégagements de gaz combustibles utilisés actuellement pour le chauffage des cornues de distillation dans l'usine de Sourahani. Les sources de Sourahani donnent du naphte blanc, mais en quantité peu considérable. En 1875, par exemple, les vingt et un puit n'ont donné que 27 tonnes de naphte, d'où l'on a pu tirer par la distillation jusqu'à 90 p. 100 de pétrole.

Dans cette localité, les terrains pétrolifères sont formés d'une série de couches de sable, d'argile et de grès, alternantes et imprégnées de pétrole. L'existence du pétrole est indiquée par les sondages et par les puits naturels situés sur divers points et qui existent depuis un temps immémorial. Les dégagements de gaz décèlent aussi la présence de l'huile à peu de profondeur. Enfin presque partout où on trouve le *kire*, on est sûr de trouver le pétrole.

Sur le plateau de Balahani, à Bibi-Eybete, on voit non seulement des puits et des usines pour la distillation du pétrole brut, mais aussi des manufactures d'huile lubrifiante.

Le plateau de Balahani se compose de 17 lots principaux, de dix déciatines chacun (1 déciatine égale 16,800 pieds carrés, un peu plus d'un hectare). Ces terrains furent adjugés aux enchères en 1873.

En 1873, il n'y avait à Bakou que 17 puits en exploitation, mais aujourd'hui il y en a près de 400 et le nombre tend toujours à s'accroître.

De 1830 à 1872, la production n'a jamais dépassé 212.000 barriques par an (une barrique contient en moyenne 10 poids de 40 livres chacun : 61 poids font une tonne française).

En 1878, la production s'était élevée à 2.300.000 barriques, ou environ 330,000 tonnes.

En 1882, la production totale du pétrole russe a été de 40 millions de poids, ce qui équivaut à 645.000 tonnes, et sur cette quantité Bakou, à lui seul, a produit plus de 14 millions de poids, environ 225,000 tonnes, ce qui, à raison d'à peu près 1365 litres la tonne fait 3.072.250 hectolitres.

Au Caucase, la profondeur des puits ne dépasse jamais 140 mètres et il y en a beaucoup dont la profondeur est inférieure à 60 mètres. Dans certains endroits, il suffit d'enfoncer une canne dans la terre pour en faire jaillir du gaz, et il n'est pas rare de trouver le pétrole en grandes masses, à 5 mètres du sol.

Beaucoup de puits produisent 400 à 600 barriques par 24 heures, et il y a des fontaines jaillissantes qui ont donné 2000 et 3000 barriques. D'après une statistique officielle, sur 24 grands puits du district de Balahani, il n'y en avait qu'un qui ne donnât que 400 poids par jour, trois en donnaient 5000, trois fournissaient de 9 à 10.000 poids; il y en avait un que produisait 12.000 poids, un autre 14.000, et deux donnaient régulièrement 30.000 poids.

La densité du pétrole brut varie communément de 0,860 à 0,910 et il est difficile de la déterminer d'une façon absolue. Elle varie suivant les localités et les conditions de profondeur des puits. A Sabuntchi, elle est de 0,820 à 0,881 ; à Balahani elle varie entre 0,850 et 0,885, à une température normale de 15° C.

En moyenne, la densité spécifique du pétrole brut paraît être de 0,870.

La densité de l'huile à brûler est selon M. Peacock de 0,819 ; le *fire test*, suivant les provenances à 30° donne 0,828.

La densité des résidus est de 0,940 : elle est donc supérieure à celle du pétrole égyptien qui pèse 0,920.

Le pétrole brut donne environ 33 pour 100 de kréazine, mais ce résultat n'est pas constant.

Ainsi un pétrole pris à 15 mètres de profondeur, ayant son point d'ébullition à 142° C., a rendu 34 pour 100 en huile photogène, d'une densité de 0,819. Un pétrole pesant 0,874, et ayant son poids d'ébullition à 158° C., a donné 25 pour 100 de pétrole distillé d'une densité de 0,797 ; puis on a eu :

30 pour 100	0,808
35 —	0,816
38 —	0,819
40 —	0,221

Un autre pétrole pris à 68 mètres de profondeur, pesant 0,891 et ayant son point d'ébullition à 0,171° C., a donné 25 pour 100 de photogène, pesant 0,819 à 14° Réaumur.

L'huile d'un puits de Balahani de 16 mètres de profondeur, point d'ébullition 142° C., a donné 34 pour 100 de photogène, d'une densité de 0,819; pendant la distillation, on a obtenu les résultats suivants :

Jusqu'à		100°	5,5	
de 100°	à	120°	10,5	16,0
120°		140°	24,5	40,5
140°		160°	17,0	57,5
160°		180°	52,0	109,5
180°		200°	37,5	147,0
200°		220°	43,0	190,0
220°		240°	48,0	238,0
240°		260°	49,5	287,5
260°		280°	70,0	357,5
280°		300°	71,5	429,0
300°		320°	60,5	489,5
320°		340°	117,5	607,0

Dans certains endroits du sol, le pétrole paraît exister à l'état de lacs; dans d'autres, au contraire, on fait diminuer la production des anciens puits en en creusant de nouveaux à côté.

L'eau, le pétrole et les gaz se rangent dans les couches, suivant leur densité. Le commencement d'une éruption pétrolifère est un vrai volcan de boue et de pierre.

Les indigènes exploitent le pétrole sans aucune précaution, et l'on peut s'étonner qu'il n'y ait pas chaque jour à Bakou de terribles explosions. Mais les industriels aisés et les compagnies russes ont des appareils à fermetures convenables qui ménagent au pétrole un débit régulier.

Le naphte reste d'ordinaire à quelques mètres du sol, et on le pompe soit avec des machines à vapeur, soit avec des manèges, et dans certains endroits on puise l'huile au moyen d'une pompe que l'on fait descendre dans le puits.

Les gisements de kird s'exploitent dans les environs du volcan de boue de Kir-Makou, et près du Hourdalane. Dans le premier gisement, le kird, de même que les sources de naphte, se trouve au milieu des roches qui forment le cône du volcan.

Les six puits voisins du village de Binigadi ont une profondeur de 96 mètres et ont, en 1875, donné 750 tonnes de naphte d'un poids spécifique de 0,895. On a remarqué que le poids spécifique diminue en profondeur.

Près de Bibi-Eibete, entre le cap de Baïlow et le village de Chihowa, à 6 kilomètres au sud de la ville de Bakou, il y a des puits de naphte situés au bord de la mer, qui, en 1875, ont donné 5500 tonnes de pétrole. Du fond de la mer, non loin du rivage, il se dégage une assez grande quantité de gaz combustible.

Au sud-ouest de ces sources, le naphte est exploité entre les montagnes Kurguèse

et Lanbotane, et il paraît probable que dans les vallées dominées par les hauteurs de Gardek, on pourrait trouver de bonnes sources de naphte.

Au nord de la péninsule d'Apschéron, dans la chaîne de montagnes de Kaïtago-Tabassarane, on trouve des sources de naphte entre Kaïa-Kente et les eaux minérales de Karataïtakhe. Encore plus au nord, au bord de la mer Caspienne, il y a des sources de naphte à 11 kilomètres au sud de la ville de Petrowsk; il y en a d'autres à 11 kilomètres de Kara-Boudagkente, dans le Daghestan septentrional; on en connaît aussi quelques-unes dans le Daghestan méridional.

On exploite depuis longtemps des sources de naphte sur les hauteurs de la Cabarda, qui séparent les bassins des rivières Terek et Soundja, et qui forment les chaînes de Malaïa-Cabarda et de Soundja, dirigées toutes deux de l'est à l'ouest. Les sources les plus riches se trouvent sur le versant nord de la chaîne de Soundja, le long de la rivière Neftianka, au pied du mont Mehkinnedate, à 14 kilomètres au nord-ouest de la forteresse de Groznaïa. Sur le versant méridional, on ne trouve de sources qu'auprès de la station de Karaboulak. Sur le versant nord de la chaîne de Malaïa-Cabarda, on a découvert des sources de naphte à 6 kilomètres au sud-ouest du village de Bragouni; ces chaînes, séparées par une vallée synclinale, sont formées par des couches de marnes, de grès et d'argiles qui appartiennent à la formation tertiaire, et au milieu desquelles on voit affleurer en plusieurs points des traces de naphte.

Les gisements d'asphalte situés près de la station de Mikaïlowsk et des eaux minérales de Sleptzow, ainsi que les amoncellements considérables de kird, situés près de la station de Goriatchevodsk, démontrent la présence souterraine du naphte.

Au pied du versant nord de la chaîne de Katchkalikowsk, qui sont la continuation de celle qui domine le fleuve de Terek, et qui se compose aussi de roches tertiaires, on connaît des sources de naphte au sud-est de la station de Goumahane-Gourte, tout près de la naissance de deux ruisseaux; des sources d'eau chaude et sulfureuse jaillissent au milieu des grès et amènent avec elles une petite quantité de naphte épais. En outre, sur le versant nord de la chaîne, au bord des rivières Fortangua, Gueha, Rochnia, Charo-Argoune, Tchenti-Argoune, Houlhoulaï et Aksaï, on a découvert des affleurements de naphte. Au nord-ouest, la présence du naphte semble avoir pour limites les sources de la péninsule de Kertch; mais il n'y a pas d'espoir d'en trouver beaucoup, car les très nombreux sondages opérés par M. Gouen, n'ont donné aucun résultat satisfaisant. La péninsule de Taman présente des conditions plus avantageuses

En outre, au delà de la rivière de Koubane, on trouve beaucoup de sources de naphte dans un territoire limité à l'est par les rivières Pchekha et Belaïa; au nord par la rivière Koubane, jusqu'à son embouchure; à l'ouest, par la mer Noire, et au sud par la chaîne principale du Caucase.

Le terrain de cette contrée, ainsi que celui de la péninsule de Taman, est formé par trois étages de la formation tertiaire; l'étage inférieur consiste en marnes et en argiles schisteuses; on y trouve aussi une brèche composée de morceaux de schiste argileux et de calcaire.

L'étage moyen est formé de calcaire, et l'étage supérieur de grès sableux à grains fins. Cette composition géologique est très analogue à celle de la péninsule d'Aps-

chéron. Une étude même superficielle de la constitution géologique de la péninsule de Taman et de la contrée située au delà du fleuve Koubane montre que les couches ont subi de grands changements dans leur position et ont été fortement soulevées et plissées. Dans la péninsule de Taman, ces soulèvements avaient lieu dans deux directions : l'une d'elles, qui prédomine dans l'est de la péninsule est parallèle à la grande chaîne du Caucase; l'autre, qui prédomine dans la partie occidentale, est parallèle à la chaîne des monts de Crimée. Dans la contrée située au delà du fleuve Koubane, les soulèvements suivent seulement la première direction.

A mesure qu'on s'éloigne vers le sud-est des bouches du Koubane, la manifestation des forces de soulèvement devient de plus en plus grande. Les sources de naphte se trouvent dans les lieux de soulèvement, dans les plis anticlinaux, de même que les volcans de boue et les sources d'eau amère et sulfureuse. Cette relation des sources de naphte avec les volcans de boue est tellement constante, qu'on peut l'utiliser pour rechercher des sources de naphte.

Les sources disposées sur les lignes de soulèvement donnent un produit beaucoup plus liquide que celles qui proviennent des couches monoclinales. Les roches d'où jaillissent les sources de naphte diffèrent par leur âge et par leurs caractères pétrographiques. La saison exerce une influence considérable sur la quantité de naphte que donnent les sources. En général, cette quantité est plus grande en été qu'en hiver.

D'après M. Abich, tous les gisements de la péninsule de Taman, témoignent que la présence du naphte est toujours liée à la dislocation du terrain et à la présence d'argiles salées, de marnes gypseuses et de lignite.

Plus loin, on connaît les sources de naphte au bord de la rivière Koura, sur les terrains de la ville de Tiflis et dans le district de Jari, au bord du Ksanka, affluent du fleuve Koura. Dans le gouvernement de Kutaïss, on trouve des sources de naphte près de Latchouta et Gouriamta.

Le pétrole a été étudié dans la presqu'île d'Apschéron et sur le bord occidental de la mer Caspienne, par M. de Helmersen[1], qui confirme beaucoup des faits précédents. Selon lui, dans la péninsule d'Apschéron, l'huile minérale imprègne surtout des couches de sable et de grès appartenant au terrain tertiaire supérieur. Dans le district de Salachana, il s'écoule par un grand nombre de sources qui suintent à la surface du sol. Généralement le pétrole est accompagné de dégagements d'hydrogène carboné et aussi de sources salées qui entraînent de l'argile venant des profondeurs et forment des salses ou volcans de boue. Par l'action de l'air le pétrole s'épaissit et donne souvent à la surface ou bien autour des volcans de boue, un bitume noir que les Tartares désignent sous le nom de kire et qu'ils utilisent, soit comme combustible, soit dans leurs constructions.

Circassie. — Le terrain tertiaire de la province de Kouban renferme des gîtes importants de pétrole. Un puits foré, sur les bords de la rivière Koudako, par le colonel Nowosiltzoff a amené vers la profondeur de 90 mètres la découverte du pétrole, qui a jailli avec abondance. D'autres puits ont donné le même résultat, mais

1. *Deutschland geologische Gesellschaft*, t. XXV, p. 257.

à des profondeurs plus grandes. Le pétrole est du reste accompagné de dégagements de gaz et, de même que dans les puits d'Amérique, son débit va successivement en diminuant. Le colonel Romanowsky[1] regarde les gîtes de pétrole du Kouban comme aussi riches que ceux de l'Amérique.

Turkestan. — Dans la chaîne de montagnes qui entoure le Fergane, dans le Turkestan russe, le pétrole mêlé d'eau jaillit du sol en plusieurs localités.

Les sources sont situées à une altitude de 700 à 1100 mètres au-dessus du niveau de la mer. La région est totalement dépourvue de forêts et de cours d'eau. C'est une solitude complète quoique la route soit praticable.

Le pétrole provient exclusivement de couches crétacées qui se composent de calcaires sablonneux très fossilifères, de grès rouges, d'argiles vertes, de gypse et de marne. Toute cette formation repose sur des roches jurassiques et est recouverte par des roches tertiaires.

Le plus souvent le pétrole coule dans le calcaire coquiller, ou plus bas, au contact du calcaire et du gypse. Comme dans l'argile on rencontre quelquefois du sel gemme, l'eau qui accompagne le pétrole est presque toujours salée. Plus les couches à pétrole sont brisées, plus abondantes sont les sources, et réciproquement. Près des sources on remarque des dépôts plus ou moins considérables de pétrole endurci qui porte le nom déja cité de *kire*. Si l'on considère la vaste étendue (sur des dizaines de kilomètres) sur laquelle le pétrole apparaît dans les mêmes conditions géologiques, au nord, à l'est et au sud de Fergane, ainsi que la rareté de la population dans ces localités, on peut dire, sans crainte de se tromper, qu'il existe beaucoup plus de sources de pétrole qu'on n'en connaît actuellement[2].

Perse. — Il est des gîtes que l'on exploite depuis une antiquité très reculée, en Perse, dans la vallée de l'Euphrate et à Chiras, dans le Kurdistan, dans des terrains tertiaires dont ils occupent deux étages, d'après les recherches de M. Ainsvorth; ils sont accompagnés de vastes dépôts de gypse et de soufre et associés à des sources thermales.

Birmanie. — Le pétrole abonde dans l'empire Birman, qui fournit à l'Europe des quantités considérables de cette huile, connue en Angleterre sous le nom de Rangooutar ou de Burmese naphta. Dans le bassin de la rivière Irawaddy, on a foré des puits nombreux qui atteignent jusqu'à 60 mètres de profondeur.

L'huile minérale qu'ils produisent est caractérisée par l'abondance de la paraffine qu'elle renferme.

Inde. — M. Lyman[3] a fait une exploration de la région du Punjab dans laquelle on trouve du pétrole. Celui-ci a une couleur vert foncé et marque jusqu'à 25° de l'aréomètre de Baumé. Dans un puits creusé à Gunda, du pétrole a été obtenu, mais son débit a diminué rapidement. Dans quelques autres endroits, il vient naturelle-

1. *Journal des mines de Saint-Pétersbourg*, 1873, p. 1.
2. Monchketoff, *Richesses minérales du Turkestan russe*, 1878, p. 16.
3. *Annales of the Philosophical Society*, t. XV, p. 3.

ment à la surfaee du sol, et quelquefois il y produit de l'asphalte en se desséehant.

Le pétrole du Punjab se rencontre habituellement dans des roehes tertiaires éoeènes qui sont même en partie nummulitiques; toutefois à Abuggad, il sort de roehes qui paraissent appartenir au terrain earbonifère.

M. Lyman n'admet pas que le pétrole du Punjab soit arrivé par émanation ou par distillation ni même qu'il ait passé d'une roehe dans une autre. Il explique sa formation par une décomposition lente des matières organiques qui se sont déposées avee les roehes dans lesquelles on le trouve.

Dans cette dernière hypothèse, il est eependant diffieile d'expliquer eomment dans une même région, il se montre dans des roehes très différentes.

États-Unis et Canada. — Le pétrole s'est révélé dans l'Amérique du Nord en 1858. La produetion s'est aeerue depuis lors avee une rapidité surprenante. Pendant l'année 1866, la production de eertains jours a atteint 1.500.000 litres.

Pour juger de la rapidité avec laquelle cette production s'est développée, il suffit de jeter un eoup d'œil sur le tableau suivant, qui représente les quantités exportées en six années :

1861	5.376.069 litres
1862	48.994.654
1863	146.729.859
1864	145.045.779
1865	135.982.075
1866	302.338.912
Total.	782.467.348 litres.

Et pour représenter d'une façon approximative la eonsommation intérieure, il faut ajouter un quart à ees ehiffres énormes.

Les trois centres prineipaux de produetion sont : la Pennsylvanie oceidentale (Venango County, dans lequel se trouvent Oil Creek, Titusville, ete.), la Virginie oecidentale ou West Virginia et le Canada oeeidental. Cependant d'autres régions des États-Unis fournissent également du pétrole.

Les roehes, dans lesquelles des milliers de puits sont forés pour ehereher le pétrole, appartiennent aux terrains stratifiés. Ces eouehes dépendent de plusieurs étages très différents de la série.

Dans le Kentueky et le Tennessee, le pétrole est fourni par les eouehes siluriennes inférieures (ealcaire de Trenton et sehiste d'Utica). Un seul puits du Kentucky, percé dans ces conditions, a débité environ 7.500.000 litres.

Un autre niveau très produetif, eelui du Canada oceidental, appartient au terrain dévonien inférieur. C'est au même terrain dévonien, mais à son étage supérieur (niveaux de Chemung et de Portage) qu'appartiennent les eouehes les plus riehes, eelles de la Pennsylvanie oeeidentale du groupe si important de Oil-Creek. A un niveau eneore plus élevé, et à divers étages du terrain earbonifère, se trouvent des sourees très abondantes. Les plus importantes de la Virginie oeeidentale appartiennent au terrain earbonifère supérieur.

Au Canada comme aux États-Unis, les sources de pétrole les plus riches sont dans les parties où les couches sont ployées, et sur les axes anticlinaux. Dans ces parties, où les couches ont été brisées, il s'est formé des cavités, des crevasses et des failles, qui servent de collecteurs naturels, dans lesquels l'huile minérale s'est rassemblée en abondance, en même temps que l'eau salée et le gaz hydrogène carboné, dont elle est généralement accompagnée. Dans le cas où le pétrole jaillit par ces surfaces anticlinales, on remarque qu'une couche d'argile le recouvre comme un toit, de manière à l'empêcher de s'échapper avant le moment où la sonde vient percer l'enveloppe argileuse

Dans la Pennsylvanie occidentale, on a remarqué que la quantité de pétrole est proportionnelle à la profondeur atteinte par le forage. Les plus productifs sont à la profondeur de 180 à 200 mètres. La qualité elle-même paraît aussi être en rapport avec la profondeur des puits; les huiles légères viennent des plus grandes profondeurs. La plupart des huiles de West-Virginia, qui sortent du terrain houiller, sont lourdes et servent principalement pour le graissage des machines. C'est ce qu'on observe clairement dans les puits exécutés dans la région sud-ouest du Canada, dans les dépôts quaternaires qui recouvrent le terrain dévonien sur des épaisseurs de 15 à 60 mètres.

A la base des argiles quaternaires on trouve souvent des couches de gravier saturé de pétrole; mais ces dernières, bien qu'assez productives, sont bientôt épuisées. On distingue l'huile fournie par ces couches de l'*huile de roche*, c'est-à-dire de celle qui provient de son gisement originel, et on lui donne le nom d'*huile de surface* (surface oil). Cette huile de surface, devenue plus dense et plus visqueuse, est recherchée comme huile lubrifiante.

Dans certains cas, la qualité de l'huile est aussi influencée par la présence du soufre, qui lui communique une odeur très forte, même à l'état naturel, et qui nécessite deux distillations avant qu'on puisse l'employer pour la combustion. C'est ce qu'on voit pour les huiles du Canada occidental où le pétrole paraît associé à des couches qui renferment du soufre, et à des sources sulfureuses.

Certains points de la Pennsylvanie ont donné, par jour, 220.000 litres et jusqu'à 600.000 litres.

Autrefois l'huile sortait avec le gaz. Les puits actuels sont presque tous des puits à pompe « *pumping wells* (fig. 83). » Les Américains de Oil-Creek renoncent de plus en plus à chercher des puits jaillissants « *flowing wells* ». A l'origine, les gaz inflammables et l'huile qui s'échappaient ensemble par le même orifice donnaient lieu à des conflagrations désastreuses; les exploitants furent amenés à faire sortir les gaz par un tuyau et l'huile par un autre. A cet effet, ils observèrent que les gaz s'échappaient de fissures situées sensiblement au même niveau, c'est-à-dire à la seconde assise de la formation de grès dévonien. Comme l'expérience leur avait déjà appris qu'il ne fallait pas compter sur des réservoirs très abondants en huile parmi les fissures de la première et de la seconde assise de ce grès, ils tubèrent leurs puits pour traverser les deux assises et descendre dans la troisième, qui leur fournissait des approvisionnements immenses. Comme conséquence de cette innovation, non seulement les conflagrations devinrent très rares, mais encore le gaz fut employé à chauffer les chaudières.

Il arrive un moment où la proportion d'eau qui accompagne le pétrole devient

de plus en plus prédominante, et où le puits doit être abandonné par suite de la rareté de l'huile. C'est alors que peut intervenir avec avantage le *torpedo* du colonel Roberts qui, par l'explosion produite au fond du puits, ouvre de nouvelles fissures, et provoque souvent la réapparition du pétrole.

Parfois un forage, entrepris à quelques mètres d'un puits stérile ou épuisé,

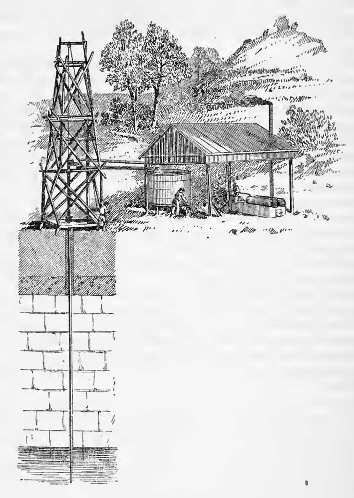


Fig. 83. — Disposition d'un puits à pétrole aux États-Unis.

produit une source abondante de pétrole, comme si les réservoirs correspondaient à des fissures verticales.

Comme les puits les plus abondants finissent par se réduire et s'épuiser, on pourrait croire que les réservoirs de pétrole qui donnent, en ce moment, une si énorme production ne tarderont pas à s'épuiser; mais il faut remarquer que, les étages oléifères se prolongent, dans cet immense territoire de l'Amérique du Nord,

sur plusieurs centaines de milliers de kilomètres. On peut donc supposer que le pétrole se trouve accumulé, dans cette région, encore pour un long avenir.

Les sources de Triumph-Hill s'étendent sur une surface de 2 milles de longueur et sur une largeur d'un mille à peine (3218 mètres de long sur 1609 de large). Cette petite étendue de terrain est cependant assez féconde en pétrole pour fournir pendant un an 25 barils par jour et par puits, bien que ces puits ne soient séparés les uns des autres que par quelques *rods* (verges anglaises, dont chacune est longue de $5^m,29$). Pompée hors des puits, l'huile est versée dans des bassins, d'où on la transporte d'abord dans des réservoirs, puis aux raffineries. On se sert à cet effet de wagons ayant l'aspect de grandes chaudières montées sur des roues, et pouvant renfermer chacune 3600 gallons (16.200 litres). On fournit à chaque pompe la quantité d'huile produite, car les bassins précités sont communs à tout le district. Il s'est formé plusieurs compagnies pour le transport de l'huile. Une d'elles, l'*Empire Line* (ligne nationale) transporte toutes les vingt-quatre heures 800.000 gallons d'huile (36.320 hectolitres).

Il arrive souvent que la foudre tombe sur les bassins; on a même supposé quelquefois que le pétrole attirait le fluide électrique, car il passe peu d'orages par-dessus la contrée sans qu'un bassin ou l'autre soit frappé par le feu céleste. L'incendie de la plus grande raffinerie de la contrée, qui eut lieu le 10 septembre 1875, est devenu célèbre. Cet incendie dura deux jours et couvrit le pays d'une fumée tellement épaisse que la clarté du jour en fut obscurcie.

Il est bon de remarquer que les gigantesques bassins des raffineries sont en fer, ce qui explique l'attraction du fluide électrique en temps d'orage.

Un sondage pratiqué à Terre-Haute, dans l'état d'Indiana, a amené la découverte d'une nappe de pétrole lorsqu'on a atteint la profondeur de 540 mètres. D'après MM. Sterry Hunt et Cox[1] cette nappe d'huile minérale est située dans le calcaire cornifère du terrain dévonien. De plus, il paraît que la localité de Terre-Haute se trouve sur l'alignement d'un pli anticlinal bien marqué.

M. Hœfer[2] a résumé les connaissances relatives au gisement du pétrole dans l'Amérique du Nord. Tous les gîtes de pétrole appartiendraient exclusivement à la partie inférieure du groupe paléozoïque, et spécialement au silurien et au dévonien. Les plus profonds se rencontrent dans l'étage de Trenton (île Manitouline, Canada); les gîtes de Gaspé sont compris dans le Lower Helderberg et l'Oriskany. Le calcaire cornifère du dévonien renferme le gîte d'Enniskillen (Canada), le plus profond des gisements de pétrole utilement exploitables; puis viennent, dans l'étage d'Hamilton, les schistes noirs de Genesee, avec 15 pour 100 de bitume, qui sont le réservoir principal des *sources de gaz* de la Pennsylvanie du Nord et de l'Ohio, mais ne contiennent pas de pétrole en quantités appréciables.

C'est dans l'étage de Chemung que s'exploitent aujourd'hui les principales sources d'huile minérale de la Pennsylvanie.

1. *American Journal*, 3e série, t. II, p. 369.
2. *Bericht der Œster. Commission* Philadelphia. — *Neues Jahrbuch*, 1878, p. 87.

Tantôt l'huile paraît liée à certains horizons géologiques (Pennsylvanie, Canada); tantôt elle occupe des fentes (Ohio, Virginie).

Dans le premier cas, on la rencontre toujours dans les roches poreuses, conglomérats, grès grossiers, calcaires caverneux.

Dans le Canada, l'Ohio, la Virginie occidentale, il n'est pas douteux que le pétrole ne se soit accumulé surtout sous les plis anticlinaux; en outre, les plis doucement inclinés donnent de l'huile en quantité considérable, tandis qu'on en trouve peu dans ceux qui sont trop brusques.

En général, d'après M. Hœfer, le gisement du pétrole en Amérique rappelle les filons-couches et l'huile a dû venir après coup, aussi bien dans les fentes que dans les sables pétrolifères. Quant à son origine première, l'auteur paraît disposé à accepter la manière de voir de ceux qui font dériver le pétrole de la distillation des restes animaux contenus dans des couches plus profondes, hypothèse qui, dans ce cas, semble cependant peu probable.

On doit à M. Hitchcock[1] un travail d'ensemble sur les gisements de pétrole de l'Amérique du Nord. L'auteur reconnaît quatre manières d'être du pétrole. Il peut se présenter : 1° dans des bassins de forme synclinale comme les nappes d'eau qui alimentent les puits artésiens; 2° dans les cavités et les fissures des roches; 3° le long des lignes des failles (Virginie occidentale, comtés de Cumberland et de Barren, Kentucky); 4° dans des relèvements de forme anticlinale où il est emmagasiné (Canada occidental).

Le pétrole a été obtenu jusqu'ici dans quatorze formations différentes qui sont :

1° Le pliocène californien;

2° Les lignites crétacés du Colorado et de l'Utah;

3° Le trias de la Caroline du Nord et du Connecticut;

4° La partie inférieure du terrain carbonifère de la Virginie occidentale. La plupart des puits productifs de la Virginie appartiennent à cet horizon;

5° La houille de Pitsburg (puits superficiels de Wheeling et d'Athènes);

6° Les couches houillères de Pomeroy;

7° La base du terrain houiller, dans les conglomérats et le mill stone gritt;

8° Le calcaire d'Archimède (subcarbonifère) de Kentucky;

9° Les groupes de Chemung et de Portage (Pennsylvanie occidentale et Ohio septentrional);

10° Le schiste noir de l'Ohio, du Kentucky, du Tennessee (dévonien moyen);

11° Le calcaire cornifère et le groupe d'Hamilton très productif dans le Canada et dans le Michigan;

12° Le calcaire inférieur d'Helderberg (silurien inférieur) à Gaspé;

13° Le calcaire de Niagara près de Chicago;

14° Le silurien inférieur du Kentucky et du Tennessee (schistes de Lorraine et d'Utica, calcaire de Trenton).

Saint-Domingue. — Une source de pétrole a été signalée par M. Gabb au nord

1. *Geological Magazine*, t. IV, p. 34 (1866).

de la ville d'Azua, dans l'île de Saint-Domingue [1]. Le carbure se fait jour à travers des graviers, en donnant lieu à un dépôt d'asphalte.

République Argentine. — Des sources de pétrole qui étaient connues depuis longtemps des Indiens ont été signalées à Jujuy, dans la république Argentine. Le pétrole, si abondant dans l'Amérique du Nord, se retrouve donc aussi dans l'Amérique du Sud [2]

Java. — Des sondages ont amené la découverte d'une source abondante de pétrole actuellement exploitée au pied d'un volcan, à Cheribon, dans l'est de Batavia [3].

§ V. ORIGINE DU PÉTROLE.

M. Berthelot [4] a fait des recherches sur l'origine des carbures et des combustibles minéraux. Partant de l'hypothèse de Davy, qui admet que les métaux alcalins peuvent exister à l'état libre dans l'intérieur de la terre, il suppose que l'acide carbonique, s'infiltrant à travers l'écorce terrestre, vienne en contact avec ces métaux alcalins. Dans ce cas, l'acide carbonique donnera naissance à des acétylides ; mais ceux-ci, sous l'influence de la vapeur d'eau, produiront de l'acétylène libre lequel, ne pouvant continuer à exister dans ces conditions, donnera lieu aux produits de sa condensation, c'est-à-dire à des bitumes, à du goudron, au pétrole, etc. Ces carbures auraient donc ainsi une origine purement minérale.

Tout en admettant cette dernière conclusion, je vais essayer [5] de montrer que, rien n'étant moins prouvé que l'existence infra-granitique des métaux alcalins libres, c'est à une réaction toute différente qu'il faut s'adresser : à la dissolution de la fonte de fer par des substances appropriées.

Ceci peut paraître étrange à première vue, mais on va voir que rien n'est plus susceptible de vérification directe. Aussi allons-nous commencer par montrer que la fonte de fer peut être considérée comme une source des carbures d'hydrogène et ultérieurement d'acide carbonique ; pour faire voir ensuite que la fonte existe en abondance dans les espaces infra-granitiques et y subit des réactions convenables.

C'est à Cloëz qu'on doit la notion des produits qui prennent naissance quand de la fonte de fer est soumise à l'action dissolvante des acides. Ils consistent en carbures d'hydrogène qui par simple combustion se transforment en acide carbonique. Il faut à cet égard faire quelques emprunts au travail capital du savant chimiste [6].

Le traitement d'une fonte blanche, contenant 0,04 de carbone combiné et environ 0,06 de manganèse, par de l'acide chlorhydrique aqueux d'une densité égale à

1. *American Journal*, 1872, t. III, p. 481.
2. *Revue de géologie* pour les années 1876 et 1877, p. 17.
3. E. Sauvage, *Rapport sur l'Exposition de géographie.*
4. *Comptes rendus*, 23 avril 1866.
5. Stanislas Meunier. *Annales agronomiques*, t. V, p. 204.
6. *Comptes rendus*, t. LXXXV. p. 1003 et LXXXVI, p. 1248.

1,12 donne lieu à la formation de produits hydrocarbonés gazeux et liquides homologues de l'éthylène, absorbables par le brome, et pouvant se combiner facilement aussi avec l'acide chlorhydrique ; on obtient en outre, dans ce traitement, des composés forméniques insolubles dans l'acide sulfurique et inattaquables par cet acide.

Allant plus loin, Cloëz a reconnu que si l'on traite par l'eau de la fonte de manganèse, il se produit, outre l'hydrogène, des gouttelettes que l'on peut condenser et recueillir. On constate de plus que le gaz formé brûle avec une flamme blanche éclairante, preuve évidente de la présence dans ce gaz d'une matière hydrocarbonée volatile.

Les produits carbonés liquides, formés par l'action de l'eau pure sur le ferromanganèse, sont de même nature que ceux fournis par la fonte blanche traitée par 'eau acidulée : une faible partie reste dans le ballon avec les oxydes ; on la sépare au moyen de l'alcool. La plus grande partie se condense dans les flacons laveurs contenant de l'eau ; un autre flacon laveur à moitié rempli d'alcool sert à retenir la portion plus volatile des hydrocarbures.

Quant aux produits gazeux hydrocarbonés, formés par l'action de l'eau bouillante sur le ferromanganèse, on peut facilement constater leur existence de plusieurs manières : 1° en recueillant dans une cloche remplie de mercure le gaz, débarrassé autant que possible des produits liquides ; après avoir desséché ce gaz au moyen de chlorure de calcium fondu, on le brûle dans l'eudiomètre avec une fois et demie son volume de gaz oxygène : on trouve dans le résidu un volume d'acide carbonique qui dépasse ordinairement le quart du volume du gaz combustible brûlé ; 2° au lieu de brûler le gaz par l'oxygène dans l'eudiomètre, on peut le mettre en contact avec de l'acide sulfurique concentré : on voit le volume du gaz se réduire considérablement et l'acide sulfurique brunir ; 3° en recueillant le gaz dans une éprouvette remplie d'eau et en introduisant ensuite un peu de brome, on observe également une diminution de volume, due à l'absorption du gaz carboné par le brome.

« En résumé, dit Cloëz, mes nouvelles expériences démontrent que l'eau seule, en agissant à chaud sur un alliage carboné de manganèse et de fer, cède son oxygène aux métaux pour former d'abord des protoxydes qui passent ultérieurement, par l'aetion de l'air, à un degré supérieur d'oxydation. Quant à l'hydrogène, une partie se dégage à l'état de liberté, le reste se combine avec le carbone pour produire des hydrocarbures analogues à ceux qu'on trouve dans le sol et qu'on exploite sous le nom de pétrole. »

Pour que les faits intéressants qui précèdent puissent nous conduire à la solution cherchée, il faut maintenant démontrer l'existence de véritable fonte dans les régions profondes de notre globe.

On sait que depuis longtemps beaucoup d'observations ont conduit à faire pressentir que la terre renferme un squelette de substances métalliques parmi lesquelles le fer doit prédominer.

Un premier argument favorable à cette opinion est tiré de la densité de la terre, si notablement supérieure à celle que permettraient de lui assigner les roches que peuvent atteindre nos moyens d'investigation. Cette densité (5,5) serait naturelle pour un globe dont une zone d'épaisseur convenable serait de fer massif.

Un deuxième ordre de faits, concordant avec le précédent, est relatif au magnétisme terrestre. Chladni en expliquait les phénomènes par la supposition d'une

masse interne de fer métallique; mais, depuis lors, on a généralement renoncé à cette manière de voir pour se ranger à la belle théorie d'Ampère. Cependant, il faut bien remarquer que les raisons dont on s'est prévalu contre le physicien de Wittenberg ne sont point suffisantes. Il semblait que la haute température des régions profondes du globe fût incompatible avec la manifestation des phénomènes magnétiques. Or, par de très intéressantes expériences, M. Trève a montré comment on peut aimanter la fonte alors qu'elle est en pleine fusion; nous pensons que, relativement au magnétisme terrestre, les idées de Chladni et celles d'Ampère devront être simultanément adoptées et combinées entre elles.

Enfin une série d'arguments encore plus probants en faveur de l'existence d'un horizon métallique dans l'écorce du globe, est fournie par la découverte du fer libre dans certaines roches éruptives d'origine profonde.

Pendant longtemps on ne l'y a connu qu'à l'état de traces difficiles à constater. C'est ainsi qu'en 1852 M. Andrews publiait une méthode au moyen de laquelle il avait reconnu l'existence du fer libre dans les roches volcaniques de la Chaussée des Géants, en Irlande, et de plusieurs autres localités. Plus tard, par un procédé différent, M. Sterry Hunt a trouvé du fer libre dans certaines roches des États-Unis. Grâce à un troisième mode opératoire, nous avons nous-même décelé le même métal dans plusieurs basaltes, dans des dolérites et dans d'autres roches volcaniques. De son côté, M. de Engelhardt assure que le platine natif est parfois accompagné de fer libre provenant évidemment de très grandes profondeurs, et l'on sait que, dans l'Oural, le platine possède souvent des propriétés magnétiques qui lui sont communiquées par les 9 ou 10 centièmes de fer auxquels il est allié.

Aujourd'hui on possède des observations beaucoup plus concluantes et que nous devons rappeler en peu de mots.

On peut voir dans la galerie de géologie du Muséum une énorme masse noire arrondie : c'est le modèle, en plâtre peint, d'un bloc de fer métallique du poids de 20.000 kilogrammes trouvé, en 1870, par le professeur Nordenskiöld, à Ovyfak, dans l'île de Disko, sur la côte occidentale du Groënland. Elle y était en compagnie de deux autres masses pesant la moitié et le quart de son poids, et d'une douzaine de nodules beaucoup plus petits.

Frappé de l'intérêt de ces blocs métalliques gisant au milieu du basalte, M. Nordenskiöld conçut aussitôt la pensée de les acquérir à la science; mais n'ayant pas à sa disposition des moyens d'action suffisamment énergiques, il dut retourner à Stockholm pour se les procurer.

Le Groënland étant une possession danoise, il fallut obtenir du gouverneur de Copenhague l'autorisation de faire enlever les blocs et assurer à son Musée le tiers de la prise. Cette formalité accomplie, la canonnière à vapeur *Ingegerd* et le brick *Gladon* furent armés spécialement pour cette expédition toute scientifique, et placés sous le commandement de M. von Otter.

Des difficultés sans nombre semblaient s'opposer à l'entreprise. Les Groënlandais, si intrépides marins, considèrent le rivage d'Ovifak comme inabordable, même en été, par suite de la houle presque perpétuelle qui y règne. En effet, la côte d'Ovyfak, sur laquelle se trouvaient les fers, présente, sur une largeur de 30 mètres environ, une grève couverte d'énormes galets derrière laquelle s'élève la paroi verticale de roches basaltiques d'une hauteur énorme, et dont le pied est recouvert par un épais

talus d'éboulis. Les galets continuent en pente douce sous la mer jusqu'à une grande distance du rivage.

Grâce à l'habileté du chef de l'expédition et à une embellie inespérée, les difficultés furent heureusement surmontées ; les trois blocs furent capturés, et on laissa à Copenhague celui de dimension moyenne.

On s'empressa d'analyser les fers qui se présentaient d'une si étrange façon. Plusieurs chimistes suédois et, entre autres, M. Nordenskiöld, y constatèrent la présence du nickel et du cobalt, et conclurent, comme le firent plus récemment Wöhler et d'autres, à leur origine extra-terrestre.

Or, les roches à fer natif d'Ovyfak appartiennent au moins à trois types dont on peut voir les échantillons au jardin des plantes. Le premier consiste en une roche noirâtre rappelant, pour l'aspect, certaines fontes graphitiques, et prenant très bien le poli ; sa cassure est lamelleuse sans que les faces du clivage permettent de reconnaître une disposition régulière et un système cristallin. Le deuxième type offre aussi une couleur et un éclat qui rappellent le fer ordinaire, mais la roche soumise à la pulvérisation se sépare en deux portions très distinctes, dont l'une se réduit en poussière fine, tandis que l'autre résiste et s'étire en minces lamelles. Enfin, dans le troisième type, la substance métallique, au lieu d'être continue, n'apparaît qu'en globules et en grains dans une pâte lithoïde. Cette dernière, d'un vert très foncé et de nature silicatée, forme la plus grande partie de la roche.

Ces diverses masses se distinguent également par leur aspect et par leur composition des types jusqu'ici connus de météorites. A ce dernier point de vue, le caractère le plus saillant consiste en ce que les fers d'Ovyfak contiennent une forte proportion de carbone combiné, circonstance qui ne se présente pas chez les fers météoriques.

D'un autre côté on ne peut se refuser de reconnaître que ces masses offrent beaucoup de ressemblance avec plusieurs roches terrestres déjà connues. Leur état cristallin et la présence du fer oxydé porteraient à les rapprocher des basaltes et des dolérites. Même l'existence du fer natif, qui tout d'abord semble une différence profonde, peut, au contraire, d'après ce qui a été dit tout à l'heure, être invoquée comme un lien de parenté.

Ceci posé, on vient de voir que la plage d'Ovyfak est formée par une haute falaise de roches basaltiques. Celles-ci renferment simplement du fer métallique en quantité extraordinaire, et qui s'y présente sous la forme de grains arrondis de toutes grosseurs avec la même composition chimique que les gros blocs. De plus, on a noté que des fragments de la même roche basaltique étaient encore adhérents, comme des débris de croûte, aux grosses masses de fer isolées et même empâtées dans leur intérieur, comme on le voit dans un échantillon conservé à Stockholm.

Pour expliquer ce gisement si singulier dans l'hypothèse d'une origine cosmique, on a été conduit à supposer que la chute des météorites avait eu lieu précisément à l'époque où le basalte faisait éruption à l'état pâteux. On conviendra que cette coïncidence, sans être impossible, serait bien étrange, et l'on peut ajouter qu'une nouvelle étude des localités, faite surtout par M. Steenstrup, de Copenhague, en a démontré l'impossibilité. La forme même des grenailles s'y refuse tout à fait : beaucoup sont lenticulaires, et l'on en cite une qui, sous une épaisseur de quelques

centimètres, a plusieurs mètres de longueur. Rien, parmi les pierres tombées du ciel, ne rappelle cette disposition, analogue au contraire à celle des minerais empâtés dans les roches éruptives. C'est surtout l'examen des basaltes pétris de grenailles, dont on doit la découverte, dans le détroit de Waigatz, à M. Steenstrup, qui permet d'affirmer que le métal est réellement d'origine terrestre.

L'écorce terrestre contient donc de la véritable fonte native, et c'est ce que nous voulions démontrer.

Ceci établi, on doit en effet remarquer que la réaction étudiée par Cloëz, et dont les produits sont des carbures d'hydrogène, peut s'y développer. Ce qu'il faut pour cela, c'est que des liquides de composition convenable parviennent au contact de la fonte.

Or, c'est évidemment à la capillarité des roches qu'est dû ce phénomène de pénétration[1].

Maintenant, quant à la composition du liquide d'infiltration, il est évident que nous n'avons pas les éléments nécessaires pour la déterminer même d'une manière approximative. Mais il est bien probable, d'après les indices observés par Cloëz, qu'à la température des régions infra-granitiques, l'eau pure possède une énergie chimique assez considérable pour déterminer la réaction qui nous occupe.

Quoi qu'il en soit, nous reconnaisons à n'en pas douter que le globe contient dans ses propres profondeurs tout ce qu'il faut pour expliquer l'origine purement minérale des carbures d'hydrogène, et tout spécialement du pétrole.

Félix Foucou, dans un mémoire déjà cité était d'avis que le gisement du pétrole dans les Karpathes confirme l'opinion qui fait venir les hydrocarbures liquides des profondeurs de la terre. De Hochtetter, de son côté, pensait que les émanations bitumineuses avait profité d'une grande ligne de dislocation traversant la Galicie en écharpe. « Peut-être, ajoutait Foucou, faut-il faire un pas de plus et dire qu'il y a eu, et qu'il y a encore tous les jours, des éruptions bitumineuses venant de l'intérieur de la terre comme il y a eu des éruptions trachytiques, métallifères et autres. Il paraît probable que les hydrocarbures font éruption sous forme de gaz. On sait du moins que dans les grands travaux de sondage entrepris en Amérique par les explorateurs de pétrole, il est arrivé que la sonde, après l'épuisement d'une nappe d'huile jaillissante a pénétré dans des cavités plus profondes qui n'ont plus laissé échapper que des gaz hydrocarbonés. Le phénomène de la formation des huiles minérales comporterait alors une explication assez simple.

« Les gaz, liquéfiés en partie par la compression, s'élèvent ensuite à travers les roches superposées et viennent remplir les cavités souterraines qui se rencontrent surtout dans le calcaire. Lorsque les roches sont des schistes ou des couches stratifiées, la capillarité intervient en outre de la pression, dès que les plans de clivage sont redressés, comme cela a lieu en Galicie, où les terrains ont été disloqués dans plusieurs sens et à plusieurs reprises. »

L'étude des gisements pétrolifères du terrain tertiaire des Karpathes a occupé, depuis, M. Coquand[2]. Ce géologue pense, au contraire de Foucou, que le pétrole

1. Voir la théorie que j'ai proposé à cet égard dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 26 novembre 1883.

2. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. XXIV, p. 582.

de cette contrée est contemporain des couches qui le contiennent et que son arrivée date du moment même où ces argiles et ces grès se déposaient au fond des eaux éocènes et miocènes.

Il lui paraît probable que des sources souterraines, éclatant de distance en distance au moment du travail de la sédimentation, ont apporté un produit liquide que les roches qui se déposaient dans leur voisinage auront emprisonné dans leur masse pour le restituer plus tard à l'état de naphte, de pétrole ou d'asphalte : emmagasiné dans des argiles sans communication avec l'air extérieur, ce produit se sera conservé à l'état de naphte ou de pétrole.

Quand il a rencontré des grès verts et des calcaires poreux, il a vraisemblablement laissé échapper tout ou partie de ses éléments volatils, en se convertissant en asphalte, en bitume glutineux ou en bitume de Judée.

M. Coquand pense qu'il faut attribuer la même origine au pétrole de l'Amérique et en général à tous les gisements pétrolifères connus. Quant à la réaction qui a donné naissance à l'huile minérale, elle doit, selon M. Coquand, être recherchée dans les profondeurs du foyer incandescent de la terre.

Aux États-Unis, M. Hitchcock [1] considère le pétrole comme essentiellement organique. La plus grande partie proviendrait, suivant lui, des végétaux; mais les animaux pourraient en avoir fourni quelque peu sous forme d'huile de poisson. M. Hitchcock ne pense pas que le pétrole soit le produit de la distillation de la houille, car il a existé avant cette formation : il se demande si l'eau salée des lagunes primitives n'aurait pas été capable d'empêcher le dégagement de gaz hydrocarboné fourni par les végétaux situés au-dessous de manière à forcer ce gaz à se condenser sous forme liquide.

De son côté, M. Sterry Hunt [2] admet que le pétrole est indigène dans les divers horizons géologiques où on le rencontre dans l'Amérique ; mais au lieu de devoir son origine au noyau terrestre, il résulterait d'une transformation particulière des matières organiques végétales qui se serait opérée au fond des eaux où se déposaient les sédiments et surtout les sédiments calcaires : cette transformation aurait été de même nature que celle qui a produit les houilles grasses ; car les analyses chimiques montrent une série de produits variant, par degrés insensibles, de l'anthracite au pétrole.

Quant aux conditions qui peuvent donner lieu à des sources abondantes de pétrole, elles doivent être en rapport avec les soulèvements qui déterminent la formation de fissures et de réservoirs où la matière minérale liquide s'est accumulée de préférence.

§ VII. APPLICATIONS DU PÉTROLE.

La principale application du pétrole est celle qu'on en fait à l'éclairage. Les lampes dans lesquelles on le brûle sont d'ailleurs assez différentes des lampes ordinaires, parce que les conditions de combustion ne sont pas les mêmes.

1. *Geological Magazine*, t. IV, p. 34 (1866).
2. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, p. 570.

Dans certaines localités, au lieu de brûler le pétrole en nature, on le fait servir à la fabrication du gaz d'éclairage. Les premiers essais furent tentés en 1862, au Canada par MM. Youle-Hind et Thomson ; ils consistaient à faire réagir à haute température la vapeur d'eau sur la vapeur de pétrole. Les résultats furent satisfaisants et donnent le moyen d'éclairer au gaz, non seulement des petites villes mais même des villages de très peu d'importance. D'ailleurs il n'est pas impossible que le gaz de pétrole ne joue tôt ou tard un rôle important, car il est obtenu dans des conditions très supérieures à celles que présente la distillation de la houille.

Ainsi, car des chiffres seuls peuvent rendre ces faits faciles à comprendre, une charge de houille de 70 kilogrammes, placée dans une cornue servant à la fabrication du gaz de houille, demande cinq heures avant de donner tout son gaz et rend 20 mètres cubes de gaz d'éclairage ordinaire, tandis qu'en employant le pétrole, une cornue horizontale produit dans une heure 16^{mc},550 qui équivalent au moins à 50 mètres cubes de l'autre gaz. La fabrication au moyen du pétrole rendra donc en cinq heures 83 mètres cubes de gaz équivalant à 250 mètres de gaz ordinaire ; il n'y aurait eu dans le même temps que 20 mètres extraits du charbon, ce qui montre en faveur du pétrole, pour la rapidité de la production, un avantage dans le rapport de plus de 12 à 1.

Il faut remarquer que ce ne sont pas là les seuls avantages tirés de cette fabrication. Elle donne comme résultats accessoires, une foule de produits des plus utiles connus sous les noms d'*huiles légères* et d'*essences de pétrole*, que l'on peut transformer en *benzine* ; d'*huiles lourdes* bonnes pour le graissage ; de *paraffine* ; de *goudron*, etc.

Le pétrole peut aussi être employé pour le chauffage et par conséquent pour la mise en mouvement des machines à vapeur. Nous ne pouvons entrer à ce sujet dans des détails, mais nous rappellerons que déjà beaucoup de machines motrices, surtout à bord des navires, sont alimentées de pétrole. On sait qu'Henri Sainte-Claire Deville a fait sur ce sujet des études très intéressantes.

Nous devons mentionner, parmi les propriétés industrielles du pétrole, son emploi pour la conservation du bois. Il résulte d'expériences faites à cet égard, que les traverses injectées d'huile minérale brute se conservent intactes pendant plusieurs années.

Enfin on a constaté certaines propriétés médicales dans le pétrole ; on a essayé d'en faire un agent anesthésique ; c'est un désinfectant puissant. On fabrique avec lui la *vaseline*, maintenant si employée. Les chimistes se servent d'huile de naphte pour conserver le potassium et d'autres métaux très oxydables.

Comme le rappellent MM. Soulié et Hardouin [1], les peuples anciens faisaient usage de la substance qui nous occupe. On prétend que le pétrole fourni par l'île de Is, près de l'Euphrate, servit, en raison de sa consistance visqueuse, à remplacer le mortier dans la construction des murs de Babylone.

Les Égyptiens se servaient également, dit-on, de l'huile minérale naturelle pour embaumer leurs morts, et l'on a retrouvé des traces de sa présence dans les linges qui enveloppaient certaines de leurs momies ; cette pratique paraît, du reste, en

1. *Le Pétrole*, 1865.

partie fortifiée par l'application moderne du pétrole à la conservation des substances organiques.

La Sicile contenait quelques sources de pétrole que les habitants d'Agrigente brûlaient dans des lampes sous le nom d'huile de Sicile.

Les sources d'Oil Creek, au Canada, paraissent être connues des Indiens depuis longtemps; ce peuple ne s'en servait, du reste, que pour quelques usages médicinaux.

Enfin, quelques peuples de l'Orient, les Perses, par exemple, n'avaient imaginé d'autre application de l'huile minérale que d'en faire un objet de leur adoration et de lui consacrer un culte dans les régions où cette substance, coulant spontanément à la surface du sol leur semblait constituer un phénomène surnaturel.

CHAPITRE X

LES GAZ COMBUSTIBLES

§ I. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES GAZ COMBUSTIBLES.

Les fontaines ardentes, les feux éternels, les feux naturels ou sources inflammables, sont produits par l'hydrogène carboné, qui s'allume quelquefois au moment où il se dégage du sol, pour brûler pendant des années ou des siècles entiers.

Les *salzes* ou *volcans boueux* sont des éruptions de matières terreuses délayées dans l'eau salée et contenant de l'hydrogène carboné et quelquefois du gypse, du soufre, du bitume ou de l'acide carbonique. La matière boueuse, en s'accumulant autour de l'ouverture par où elle s'échappe, édifie un cône au sommet duquel se trouve une cavité cratériforme; le fond de cette cavité est occupée par une matière boueuse d'où s'échappent, entre chaque éruption, les bulles de gaz. Ces cônes, de même que les *hornitos* du Jorullo sont, selon l'expression de Ch. Sainte-Claire-Deville, des volcans lilliputiens.

Les salzes les plus connues sont celles des bords de la mer Caspienne, de la Crimée, du Modénais, de Macaluba, près de Girenti (Sicile) et de Turbaco près de Carthagène (Nouvelle-Grenade).

§ II. COMPOSITION CHIMIQUE DES GAZ COMBUSTIBLES.

D'après MM. Fouqué et Gorceix[1], les gaz inflammables des Apennins et des lagonis de la Toscane, qui doivent être pris comme types de gaz combustibles, peuvent être divisés en quatre classes d'après leur composition :

1° Le gaz de Sassuno caractérisé par l'hydrure d'éthyle;

2° Tous les gaz, comme celui de Poretta, qui renferment plus de 1,80 pour 100 d'acide carbonique;

3° Les gaz contenant plus de 5 pour 100 d'azote : Fosso dei Bagni, San Martino, San Venanzio;

4° Les gaz dans lesquels domine le gaz des marais; Barigazzo, Monte Creto, Sassuolo, Salvarola, Bergullo, Riolo, Pietra Mala, Gaggio.

1. *Annales des sciences géologiques*, t. II.

Tous appartiennent à une même famille, caractérisée par la prédominance du gaz le moins carburé, le gaz des marais. Ils renferment souvent des vapeurs de carbures liquides appartenant à la série $C^{2n}H^{2n-2}$; ils sont en relation chimique intime avec les gaz combustibles des puits de pétrole américains, mais ils sont moins carburés.

Les dégagements de gaz des Apennins sont groupés suivant deux lignes sensiblement parallèles à l'axe de ces montagnes, qui courent au milieu des argiles et des marnes subapennines.

Les soffionis de la Toscane jalonnent une ligne N. N. O.-S. S. E., parallèle à l'axe des Alpes-Apuennes et dont le prolongement passe par les volcans du Latium et par le Vésuve.

Voici un tableau qui résume les recherches, sur lesquelles nous allons revenir avec détail, des deux chimistes français :

		Acide carbonique	Azote	Gaz des marais	Hydrure d'éthyle
Barrigazzo	*Orto dell' inferno.*	1,58	1,81	96,61	»
Monte Creto		0,53	1,22	98,25	»
Bocca Suolo n° 1		2,32	1,52	96,16	»
Id. n° 2		2,38	0,30	97,32	»
Id. n° 3		1,51	2,14	96,35	»
San Venanzio		0,52	10,16	89,32	»
Sassuolo		0,56	1,38	98,06	»
Salvarola		0,79	3,63	95,58	»
Pietra Mala	Vulcano	1,54	2,27	96,19	»
	Vulcanello	1,75	0,77	97,48	»
	Aqua Buja	0,74	0,41	98,85	»
Bergullo		0,48	0,59	98,93	»
Riolo		1,01	1,64	97,35	»
San Martino del Pedriolo		1,12	6,20	92,68	»
Sassuno		1,14	0,39	80,60	17,87
Porretta	Leone	5,97	4,61	89,42	»
	Gazomètre	2,52	1,57	95,91	»
	Bovi	5,72	2,06	92,22	»
	Marte	5,06	2,78	92,16	»
	Puzzola	1,84	6,68	91,48	»
	Porretta Vecchia	2,02	7,23	90,75	»
	Sasso Cardo	2,05	3,13	94,82	»
	Fosso di Bagni	0,61	8,04	91,35	»
	Gaggio montano	1,23	2,01	96,76	»

M. Sadtler[1] a fait quelques analyses des gaz provenant de puits qui fournissent le pétrole aux États-Unis.

A. Puits Burns dans Butler County, dans lequel le pétrole jaillit d'une profondeur de 550 mètres.

1. *Second geological of Survey of Pennsylvania*, 1875

B. Puits Leachburg, dans Westmoreland County; son pétrole provient d'une profondeur de 400 mètres, et il est accompagné d'eau salée.

C. Puits Cherry-Tree, dans Indiana County; entrepris pour rechercher du pétrole, il a donné, à la profondeur de 165 mètres, une source d'eau non salée de laquelle s'échappent des bulles de gaz.

	A	B	C
Densité	0.615	0.558	»
Acide carbonique	0.34	0.35	0.28
Oxyde de carbone	trace	0.26	—
Gaz d'éclairage	—	0.56	—
Hydrogène	6.10	4.79	22.50
Gaz des marais	75.44	89.65	60.27
Éthyl-hydride	18.12	4.59	6.80
Propyl-hydride	trace	trace	—
Oxygène	—	—	0.83
Azote	—	—	7.52
	100.00	100.00	100.00

Les gaz des deux premiers puits à pétrole présentent à peu près la composition trouvée précédemment dans des recherches du même genre. D'un autre côté celui qui s'échappe de la source de Cherry-Tree en diffère beaucoup : en particulier, il contient plus d'acide carbonique et il se distingue surtout par la présence de l'oxygène et de l'azote; or ces deux gaz étant précisément ceux que les eaux de source dissolvent habituellement, il n'est pas étonnant qu'ils s'échappent de la source artésienne de Cherry-Tree.

D'après le même chimiste voici la composition du gaz provenant de Harvey :

Gaz des marais	Gaz oléifiant	Hydrogène.	Acide carbonique	Total
80,11	5,72	13,6	0,66	99,99

§ III. — GISEMENT DES GAZ INFLAMMABLES.

FRANCE

Haute-Savoie. — A Châtillon (Haute-Savoie) et dans les environs, le sol laisse dégager en beaucoup d'endroits de l'hydrogène carboné, que plusieurs habitants utilisent même pour l'éclairage. Il suffit souvent de percer un simple trou, de 1 mètre de profondeur, pour obtenir un gaz très abondant, brûlant pendant cinq heures, avec une flamme de 2 à 3 mètres de haut.

Un sondage de 10 mètres, exécuté à Prèle, a donné un dégagement violent de gaz qui a brûlé pendant quinze jours. Au moment où l'on débouchait le trou de sonde, on entendait un bruit sourd, suivi bientôt d'un dégagement du gaz.

On a constaté aussi à l'est de Châtillon la présence de pétrole dans le fond d'un puits mesurant 30 mètres de profondeur.

Voici, d'après M. Lheureux, la composition du gaz de Châtillon :

Gaz des marais.	Gaz oléfiant.	Acide carbonique.	Oxygène.	Hydrogène, azote et acide carbonique.	Hydrogène sulfuré.	Somme.
85,00	4,00	4,00	4,00	3,00	traces	100,000

M. Mermillod a reconnu dans une expérience que ce gaz avait à sa sortie une température inférieure de 3° à celle de l'air ambiant; s'il vient d'une grande profondeur, il s'est donc emmagasiné près de la surface. Il n'est pas impossible qu'il résulte du métamorphisme des couches de houille de la Savoie, qui ont été changées en anthracite; toutefois il se serait accumulé dans des terrains supérieurs au terrain houiller, notamment dans le trias.

Le gaz de Châtillon nuit à la culture des terres dans les parties où il s'échappe spontanément du sol; en revanche, il pourrait être utilisé, non seulement pour l'éclairage, mais encore comme moteur pour les machines Lenoir et même pour le chauffage.

Drôme. — A 5 kilomètres au nord-ouest du Buis-les-Baronnies, près de Nyons, il se dégage du sol une effluve de gaz hydrogène carboné. Son débit est d'environ 100 mètres cubes par 24 heures.

D'après les détails qu'a bien voulu me fournir M. Laffiteau, ce jet gazeux est situé au bas d'une montagne profondément découpée dans la direction du sud au nord. Au début, le gaz s'exhalait à travers des marnes déjà remuées, mais en creusant le sol à une profondeur de 3 mètres environ, on constata qu'il venait à travers une fissure de 1^m,20 de longueur et d'une épaisseur de 1 millimètre dans une couche de marne très dure appartenant au lias.

Actuellement le gaz est recueilli dans une petite citerne cimentée à laquelle on a adapté un tuyau de fer d'un diamètre de 3 centimètres, et il brûle constamment à plein tuyau projetant une flamme très vive de 50 centimètres de jet.

Il existe dans le même point des sources très abondantes d'eaux sulfureuses, d'eaux salées et d'eaux magnésiennes[1]. En creusant le sol pour établir la citerne, on a constaté la présence de *crasse de pétrole*.

ALSACE

Bechelbronn. — A Bechelbronn, dont nous avons déjà parlé à propos du bitume, certaines veines de sables exhalent de l'hydrogène protocarboné avec une abondance

1. Voy. Lory, *Description du Dauphiné*, p. 247.

telle qu'il s'est produit à plusieurs reprises des inflammations dans les travaux. Une détonation de cette nature, survenue le 16 juin 1845 dans la veine Madeleine, et plus violente que toutes celles qui ont eu lieu depuis un siècle, a causé la mort de cinq mineurs. On évite le retour de pareils accidents en ne pénétraut plus dans les travaux qu'avec la lampe de Davy et en suspendant l'exploitation pendant l'été, époque à laquelle l'aérage est peu actif.

On a pu juger de la violence avec laquelle l'hydrogène protocarboné se dégage quelquefois des couches de Bechelbronn lorsqu'on a percé le puits Joseph au mois d'avril 1849. A une profondeur de 19m,50 on rencontra un premier dégagement très fort de grisou, qui néanmoins n'arrêta pas le travail; ce dégagement résultait de ce que l'on se trouvait sur le toit d'une couche de sable bitumineux de 0m,60 d'épaisseur dont l'existence était inconnue. Quand on arriva à la profondeur de 32 mètres, le gaz s'échappa du fond du puits plus violemment que jamais, avec accompagnement d'une veine d'eau de 15 litres par minute, qui était projetée à 2 mètres de distance horizontale. Le jaillissement du gaz faisait alors entendre un bruit que les mineurs ne peuvent mieux comparer, pour l'acuité et la force, qu'aux cris de plusieurs porcs sous le couteau du boucher; ce bruit était tel qu'il couvrait totalement la voix des mineurs. Le sol argileux, par les interstices duquel s'échappait le grisou, quoique ayant 1 mètre d'épaisseur, bouillonna pendant deux jours comme la surface d'une chaudière de raffinage de pétrole en ébullition.

En présence d'un tel dégagement de gaz et malgré la légèreté spécifique de l'hydrogène protocarboné qui le fournissait, le tissu métallique de la lampe de Davy devenait immédiatement incandescent; il fut donc impossible aux mineurs de pousser le foncement du puits tant que la roche en ce point ne fut pas éventée. La couche qui provoquait le dégagement du gaz dont il vient d'être question n'avait que 0m,16 d'épaisseur. Son odeur aromatique très pénétrante rappelait celle du bitume de Schwabwiller, d'où il se dégage aussi de l'hydrogène carboné en abondance.

ITALIE

Apennins[1]. — Barigazzo est un village situé à 70 ou 72 kilomètres de Modène. L'altitude de ce point est de 1177 mètres, et il se trouve ainsi placé presque au sommet de cette région de montagnes. Sur le versant occidental de la chaîne les dégagements spontanés qu'on observe ont fait l'objet de longues et savantes études de Spallanzani.

Près du village même de Barigazzo se trouvent deux sources très abondantes de gaz.

Dans l'une d'elles le gaz s'échappe par de nombreux jets des parois d'un petit four, où la chaleur produite par sa combustion est utilisée pour la fabrication de la chaux. De loin une légère odeur de pétrole se fait sentir. La pression sous laquelle s'échappe le gaz est assez faible.

Le second dégagement de gaz des environs de Barigazzo se trouve dans l'endroit nommé Orto dell'Inferno.

1. Ce qui suit est extrait des grandes recherches déjà citées de MM. Fouqué et Gorceix.

Dans cette dernière source, le gaz, dépouillé préalablement d'oxygène et d'acide carbonique, a été trouvée composée comme il suit d'après l'analyse eudiométrique :

Azote.	0,7
Gaz des marais.	26,7
	27,4

A quelques milles à l'est de Barigazzo, il existe dans la commune de Sestola un dégagement de gaz qui contient :

Azote.	7,85
Gaz des marais.	92,15
	100,00

Un autre centre de dégagement gazeux se trouve à Bocca Suolo, village distant de 6 ou 7 kilomètres à l'ouest de Barigazzo.

La composition de ce gaz est :

Acide carbonique.	2,14
Azote.	1,51
Gaz des marais.	96,35
	100,00

A quelques centaines de mètres de San Venanzio se trouve une mare peu profonde, d'environ 7 à 8 mètres de diamètre, au milieu de laquelle s'échappent par intermittence des jets gazeux au nombre de cinq ou six. Les bulles, fort nombreuses, s'échappent comme par bouffées et s'enflamment facilement à l'approche d'une allumette.

Il est impossible de voir là un marécage ordinaire, avec un dégagement de gaz provenant de la décomposition de matières végétales en putréfaction. Cette mare ne présente ni joncs ni aucune autre plante aquatique, et le dégagement de gaz y est beaucoup trop abondant pour qu'on puisse supposer qu'il provient de la putréfaction des boues qui en occupent le fond.

La composition du gaz est :

Azote.	7,8
Gaz des marais.	92,2
	100,0

La mare de San Venanzio est située sur un terrain argileux appartenant aux marnes subapennines.

A peu de distance de là se trouve une salse curieuse, composée d'un cône boueux de 25 mètres de circonférence et de 3 à 4 mètres de hauteur, autour duquel étaient groupés onze cônes plus petits.

A Sassuolo se présentent des dégagements gazeux tout particulièrement remarquables.

A 1 kilomètre de Sassuolo, au hameau de Salvarola, il existe des sources gazeuses très abondantes.

Le gaz s'y échappe d'une source d'eau fortement salée dont l'usage est recommandé dans les affections goîtreuses.

Le thermomètre marquait 11 degrés dans l'eau, et il en sortait de grosses bulles inflammables.

Le gaz de Salvarola a présenté la composition suivante :

Acide carbonique	0,79
Azote	3,63
Gaz des marais	95,58
	100,00

Sur le versant oriental des Apennins, le petit village de Coviglaglio est, par rapport à Porretta, le symétrique de Barigazzo, situé sur le versant occidental. C'est près de là que se trouvent les feux de Pietra-Mala, fréquemment visités par les naturalistes.

En 1780, Volta venait de découvrir le gaz des marais. Il pensa que les feux des terrains ardents devaient être produits par la combustion du même gaz, il se rendit à Pietra-Mala, dont il a laissé la description.

Le sol de Pietra-Mala est formé, comme celui de Barigazzo, d'argile scaglieuse, avec fragments de macigno et d'albérèse. Les cristaux de dolomie y sont fort abondants, tous les champs en sont couverts.

Le plus considérable des feux de Pietra-Mala est connu sous le nom de Vulcano. Ni la pluie ni les vents ne peuvent l'éteindre, tant est grande la masse de gaz qui l'alimente. Le plus petit, appelé Vulcanello, s'éteint au contraire fort souvent à la suite de violents orages. Une odeur pénétrante de pétrole s'en exhale.

Le gaz du feu principal de Pietra-Mala (Vulcano) a présenté la composition suivante :

Acide carbonique	1,54
Azote	2,27
Gaz des marais	96,19
	100,00

Le second feu de Pietra-Mala, celui de Vulcanello, beaucoup moins abondant que le précédent, est éloigné de 700 à 800 mètres du principal dégagement.

Le gaz s'y échappe par une fente de 2 à 3 mètres de long, dont le prolongement passerait sensiblement par le feu de Vulcano.

Le gaz de Vulcanello (Pietra Mala) a présenté la composition qui suit :

Acide carbonique	1,69
Oxygène	0,68
Azote	3,27
Gaz des marais	94,36
	100,00

De l'autre côté du village de Pietra-Mala, au-dessus de la route, et à environ

1 kilomètre de l'église, deux dégagements gazeux se montrent dans une tranchée faite au milieu d'une prairie.

Le contrefort des Apennins, dans sa partie orientale, aux environs d'Imola, présente des émanations gazeuses non moins remarquables que celles de Barigazzo et de Pietra-Mala.

Près de San-Martino del Pedriolo, situé à quelques kilomètres de Castel San-Pietro, on trouve un puits d'eau fortement salée, qui est transportée chaque jour dans des tonneaux à Castel-San-Pietro, où l'on utilise sa salure. Le puits est établi dans une gorge creusée dans les marnes subapennines. La surface de l'eau est à 2 mètres au-dessous du niveau du sol. Sa profondeur est de 4 mètres. Sa température était de 11 degrés, le thermomètre marquant 18 degrés à l'ombre. Il s'en échappe par intermittences, et sans aucune régularité, de grosses et nombreuses bulles de gaz inflammable; non loin de là jaillissent, à côté les unes des autres, trois petites sources, fort peu abondantes, d'eau sulfureuse.

Le gaz du puits est composé comme suit :

Acide carbonique.	1,12
Azote.	6,20
Gaz des marais.	92,68
	100,00

A 6 kilomètres de San-Martino, près de la Casa-Cabrera et à quelque distance du torrent, sur les flancs de la colline qui le borde à l'est, on trouve une source d'eau douce à la surface de laquelle apparaît une très mince pellicule d'une substance bitumineuse dont l'odeur rappelle celle de la térébenthine. L'eau de la source avait une température de 10°,5 : tout alentour les marnes subapennines sont fort salées et recouvertes d'efflorescences de sel marin. Aucun gaz n'accompagne ce léger suintement de pétrole. A peu de distance de là sont des salses décrites en 1839 par M. le professeur Bianconi. Le gaz de Sassuno a présenté la composition suivante :

Acide carbonique.	1,14
Azote.	0,39
Gaz des marais..	80,60
Hydrure d'éthyle..	17,87
	100,00

Porretta est à 50 kilomètres de Bologne, à une altitude de 375 mètres, près d'un col de la chaîne des Apennins. Cette ville est entourée à l'est par le Reno et dominée de tous les autres côtés par des montagnes, où l'on distingue les pointes de Sassocardo, della Croce et della Rochetta.

Le terrain est formé principalement d'argile scaglieuse empâtant de nombreux fragments d'albérèse, de calcaire à fucoïdes, de macigno que l'on rapporte à l'étage éocène. Sur plusieurs points, cette dernière roche recouvre très nettement l'argile scaglieuse; en d'autres points, elle semble être placée au-dessous. Des veines de dolomie, d'aragonite, pénètrent dans les fragments des roches précédentes, et indiquent qu'après une fracture de ces fragments due à de puissantes actions méca-

niques, les débris ont été ressoudés entre eux par suite d'un dépôt geysérien de ces substances. Au milieu de l'argile, entre les bancs, on trouve fréquemment des cristaux de quartz à faces très brillantes, enfermant dans leur masse des gouttelettes d'eau mobiles et des bulles de gaz. Un grand nombre de ces cristaux sont formés de feuillets parfaitement transparents, séparés par des couches d'argile. Leur aspect rappelle celui des cristaux de gypse qu'on trouve au milieu des argiles des environs de Paris, et leur formation par voie aqueuse ne peut un instant être mise en doute.

Ces cristaux de quartz, de dolomie, d'aragonite, les couches de limonite et d'oxyde de manganèse qui recouvrent les fragments d'albérèse, et qui même se sont substituées en partie à la roche, indiquent que de puissantes actions geysériennes ont dû se faire sentir dans cette région. C'est dans cette action que doit être cherchée l'explication des nombreux cas de métamorphisme qu'on y observe.

En même temps les nombreuses éruptions d'euphotide et de serpentine qui se montrent aux environs sont vraisemblablement liées à la cause mécanique qui a si profondément altéré la stratification de ces terrains.

L'argile scaglieuse, avec le calcaire à fucoïdes et l'albérèse, constitue un horizon parfaitement défini. Cette formation, qui constitue une grande partie des Apennins, est rangée à peu près par tous les géologues dans l'étage éocène, mais il en est tout autrement du macigno. D'après le professeur Bianconi, le macigno de Porretta serait comtemporain de celui de Vergato, supérieur à l'argile scaglieuse, et par conséquent de formation miocénique. Pour M. Pareto[1], il serait de formation éocénique, ou même appartiendrait à une époque plus ancienne.

Les thermes de Porretta comptent huit sources captées dans trois établissements.

L'eau de la source del Leone, qui sort du pied de la montagne de Sassocardo est limpide et transparente. Son odeur est légèrement sulfureuse, son goût salé; elle a une température de 32°,2. Le chlorure et le bicarbonate de soude sont ses éléments dominants. Le conduit qui l'apporte de la montagne est traversé par un abondant courant de gaz composé ainsi :

Acide carbonique.	5,97
Azote.	4,61
Gaz des marais.	89,42
	100,00

La source dei Bovi est située à côté de la précédente, et comme celle-ci elle provient du pied de la montagne de Sassocardo. L'eau est un peu plus sulfurée que celle de la source del Leone; elle possède une température de 35°.5. Elle tient en dissolution une assez forte proportion de bicarbonate de soude.

Le gaz qui s'en dégage a présenté la composition suivante :

Acide carbonique.	5,72
Azote.	2,06
Gaz des marais.	92,22
	100,00

1. *Bulletin de la Société géologique de France*, 1861.

La source de Marte a une température de 38°,5 et dégage du gaz semblable à la précédente.

Les quatre sources de Porretta, désignées sous les noms de Marte, Donzelle, Reale, Tromba, proviennent de la montagne della Croce, située en face du mont Sassocardo, de l'autre côté du rio Maggiore. L'eau de la source de Donzelle contient plus d'hydrogène sulfuré que la précédente, mais moins de sel marin et de bicarbonate de soude.

Il en est encore de même de la source de Puzzola dont la température est de 24°. Le dégagement de gaz qui la traverse est peu abondant, il a présenté la composition suivante :

Acide carbonique	1,84
Azote	6,68
Gaz des marais	91,48
	100,00

L'eau de la source de Porretta-Vecchia est la plus sulfurée de toutes les eaux de Porretta, dont la température est de 32°. Le dégagement du gaz est peu abondant, on lui a trouvé la composition suivante :

Acide carbonique	2,02
Azote	7,23
Gaz des marais	90,75
	100,00

Au-dessus de Porretta, presqu'à la cime du mont Sassocardo, on observe quatre ou cinq jets gazeux disséminés sur un espace de quelques mètres carrés. Les fentes de Macigno leur servent de conduits naturels.

La composition du gaz est :

Acide carbonique	1,75
Azote	9,55
Gaz des marais	88,70
	100,00

A trois kilomètres environ de Porretta, en remontant le cours du Reno, on rencontre, sur la rive droite de ce torrent, le ruisseau de Fosso di Bagni. On trouve dans le lit même de ce ruisseau une abondante source de gaz.

La composition du gaz est :

Acide carbonique	0,61
Azote	8,04
Gaz des marais	91,35
	100,00

Gaggio-Montano est un petit village situé à 7 kilomètres au nord-ouest de Porretta, à une altitude d'environ 550 mètres. Le chemin qui y conduit, à partir de la route qui longe le Reno, est tracé dans le lit du torrent, dont le lit rocailleux est rempli de fragments de roches diverses. Les cailloux roulés de dolomie, d'aragonite, de quartz, d'albérèse, avec veines spathiques, de macigne, de graphitone, de serpentine, d'euphotide, forment le pavé naturel de la route. Les émanations gazeuses jaillissent au milieu d'un champ dont le sol, comme celui de tous les environs, est formé d'argile scaglieuse. A Porretta et dans plusieurs localités voisines, telles que Gaggio, Montano, un dégagement gazeux se manifeste fréquemment lorsque l'on creuse des puits ou que l'on pratique des tranchées. Lorsque l'on a creusé le tunnel situé sur la rive droite du Reno, tout près de la gare de Porretta, un dégagement subit de gaz inflammable, allumé par les lampes des ouvriers, produisit une violente explosion qui causa la mort de plusieurs personnes, et bien d'autres fois, dans la contrée, on a eu à déplorer des accidents de ce genre.

La composition du gaz est :

Acide carbonique.	1,23
Azote.	2,01
Gas des marais.	96,76
	100,00

Les gaz des lagoni de la Toscane se distinguent de ceux des Apennins par leur température élevée au moment de leur émission (cette température est d'environ 100 degrés), par l'hydrogène libre qu'ils renferment, par les quantités considérables d'acide carbonique et d'hydrogène sulfuré qui entrent dans leur composition. En comparant les résultats des analyses on voit que depuis 1856, il ne s'est produit aucun changement notable dans les émanations.

En résumé, les gaz de l'Italie centrale examinés par MM. Fouqué et Gorceix sont au nombre de vingt-huit. Quatre appartiennent aux lagoni de la Toscane, les vingt-quatre autres proviennent de la région des Apennins. Les premiers seuls renferment de l'hydrogène libre, et parmi les autres, qui tous sont en grande partie composés de gaz des marais, un seul, celui de Sassuno, renferme en outre de ce gaz une certaine proportion d'hydrure d'éthyle.

Indépendamment du point de vue scientifique, on peut ajouter quelques réflexions sur les conclusions industrielles à déduire des analyses. L'étude des gaz des puits pétrolifères d'Amérique, a conduit à penser que des sources de pétrole les plus abondantes étaient celles qui donnaient issue aux gaz les plus carburés de la série $C^{2n}H^{2n+2}$; de sorte qu'à l'inspection des gaz provenant d'une source naturelle ou d'un forage artésien, on peut prédire à l'avance, avec un certain degré de probabilité, quelle sera la richesse en pétrole du gisement exploré. Or, les gaz des Apennins sont pauvres en carbone : sur 24 gaz examinés, 23 ne renferment aucun autre élément combustible que le gaz des marais. Il est donc très probable que jamais les exploitations de pétrole dans les Apennins ne fourniront une richesse de produits comparable à celle des sources de l'Amérique du Nord. De plus, s'il existe

un point des Apennins où la recherche du pétrole puisse être couronnée de succès, c'est vraisemblablement à Sassuno que l'exploitation doit être tentée, car c'est le seul point où l'on ait trouvé l'hydrure d'éthyle mélangé au gaz des marais.

Enfin il importe d'appeler l'attention sur l'alignement régulier des dégagements de gaz inflammables des Apennins.

Ces dégagements de gaz occupent deux lignes sensiblement parallèles à la crête voisine de l'Apennin. La plus rapprochée de la crête de la chaîne comprend les gisements de Bocca Suolo, de Barigazzo, de Monte-Creto, de Gaggio Montano, de Poretta, de Fosso di Bagni et de Pietra Mala. On y trouve encore les gisements de Frassinoro et de Fanano, indiqués par Spallanzani. Sa direction moyenne est O. N. O. Tout le long de cette ligne le terrain est formé d'argile scaglieuse ou de macigno. La nature rocailleuse du sol fait que le gaz s'y dégage sans entraîner de boue argileuse avec lui. Aussi, dans les localités qu'on vient d'énumérer on ne voit ni cônes de boue, comme dans les volcans boueux, ni épanchements argileux comme dans les salses. C'est la zone des terrains ardents ou des fontaines ardentes, suivant que le gaz se dégage à sec ou qu'il est accompagné de sources plus ou moins abondantes.

L'altitude y est généralement fort élevée, elle dépasse 1000 mètres à Barigazzo et à Pietra-Mala, aux deux points extrêmes de la zone, et présente son minimum à Porretta, où elle descend à 375 mètres. Le niveau peu élevé de Porretta, explique l'abondance des eaux que l'on y observe, leur minéralisation plus grande et leur température plus élevée que celle des autres sources de la même bande de terrain. Elle explique aussi dans une certaine mesure les particularités que présente la composition des gaz de cette localité.

La seconde ligne, éloignée des Apennins d'environ 30 kilomètres est dirigée vers 17° nord, s'étend vers l'ouest, jusqu'aux environs de Plaisance, et peut-être même jusqu'à Voghera. Elle est tout entière située dans les marnes sub-apennines et toujours à une altitude très peu élevée au-dessus du niveau de la plaine de la Lombardie. Elle comprend les gisements de Sassuolo, de San Venanzio, de Salvarola, ceux de San Martino del Pedriolo, de Sassuno, de Bergullo et de Riolo. La nature éminemment argileuse du sol est très favorable à la production des cônes de boues et des salses; aussi la plupart des gisements que nous venons d'énumérer se présentent-ils sous cet aspect. Il n'y a d'exception que pour ceux dans lesquels le gaz sort précisément au milieu d'une nappe ou d'un courant d'eau. Ainsi, la distribution des dégagements de gaz combustibles des Apennins, les particularités de composition qu'ils présentent, l'aspect physique des bouches qui leur donnent issue, sont intimement liés à l'orographie, et à la constitution géologique de la région dans laquelle on les observe. Quant aux soffioni de la Toscane, leur alignement régulier n'est pas moins remarquable que celui des gisements gazeux des Apennins. Nous rappellerons seulement ici, d'après Murchison[1] et d'après Ch. Sainte-Claire Deville (ouvrage cité) que leur direction est N. N. O. à S. S. E. parallèle à celle des Alpes apiennes, et que le prolongement de cette direction passe par les volcans romains et par le Vésuve.

1. *Quarterly Journal of the geological Society*, 27 mars 1850, t. VI, p. 367.

VALACHIE

M. Capellini a décrit en Valachie des émanations gazeuses qu'il regarde comme dérivant, par altération, des pétroles.

ILE DE ZANTE

On connaît depuis des siècles dans l'île de Zante, à Chieri, des jets de gaz inflammables.

CAUCASE

Les gaz se dégageant des eaux thermales sulfureuses de Michaïlow dans le Caucase ont été analysés par M. C. Schmidt sous la direction de M. Abich[1]. Leur composition est en volume :

Hydrogène protocarboné	46.144
Acide carbonique	13.107
Azote	40.397
Oxygène	0.130
Hydrogène sulfuré	0.222
	100.000

On peut observer que ce gaz se distingue de celui qui sort de terre dans les presqu'îles de Kertsch, de Taman et d'Apscheron, et que nous avons mentionnés plus haut à propos du pétrole, en ce qu'il contient de l'hydrogène sulfuré, tandis qu'on n'y trouve ni gaz oléfiant, ni hydrogène.

CHINE

Les dégagements de gaz sont très fréquents en Chine. Ils sont en diverses localités utilisés pour l'éclairage et le chauffage.

AMÉRIQUE DU NORD

Dans une visite des principaux gisements de pétrole de l'Amérique du Nord, Foucou a recueilli les gaz qu'ils dégagent, et leur analyse a été ensuite faite par M. Fouqué[2]. Ces gaz sont des mélanges en proportions diverses de carbures d'hydrogène présentant la formule $C^{2n}H^{2n+2}$. Ils contiennent de l'acide carbonique, mais généralement en petite quantité. On y trouve aussi de l'azote, au plus dans la proportion de 1,55 pour 100. De l'air atmosphérique leur est également mélangé en quantité variable. D'un autre côté ils ne renferment pas d'hydrogène libre, d'acétylène, d'oxyde de carbone, ni aucun carbure de la série du gaz oléfiant.

1. *Bulletin de l'Académie de Saint-Pétersbourg*, t. XI. p. 391.
2. *Comptes rendus*, t. LXVII, p. 1041.

M. Fouqué fait observer, au sujet de ces analyses, que l'hydrogène correspondrait au maximum d'énergie des forces éruptives, tandis que les gaz de la série $C^{2n}H^{2n+2}$ indiqueraient au contraire l'épuisement de ces mêmes forces et que le gaz des marais caractériserait un état moyen.

M. Lawrence Smith a publié en 1876 des renseignements sur les puits de gaz de la Pennsylvanie orientale.

Les puits les plus abondants sont ceux de Burus et de Delameter, situés à 30 milles de Pittsburg, dans le comté de Buttler, et éloignés l'un de l'autre de moins d'un demi-mille. Le gaz qui se dégage de ces puits est conduit, par des tuyaux à Pittsburg, aux usines de Spang Chalfaut et de Graff Bennett

La profondeur des puits est de 1600 pieds.

Le puits de Delameter était d'abord un puits à pétrole, qui fournissait 1600 litres de liquide par jour ; creusé plus profondément, il donna un dégagement de gaz d'une pression énorme.

Ce dégagement gazeux fournit de la lumière et du combustible à tous les environs, y compris la ville de Saint-Yves. Il émerge du sol, dans une vallée entourée de hautes montagnes, qui réfléchissent et concentrent la lumière produite par le gaz. Plusieurs conduites partent de ce puits ; l'une amène le gaz directement au cylindre d'une machine motrice qui, par la seule pression, acquiert une prodigieuse vitesse. Si on allume le gaz qui s'échappe du tuyau de dégagement il se produit une flamme immense.

Près du hangar de la machine, un autre tuyau alimente une autre flamme qui peut réduire autant de minerai de fer que la moitié des hauts fourneaux de Pittsburg en traitent chaque jour. A 20 mètres plus loin est l'écoulement principal du puits. Une colonne de feu de 40 pieds de hauteur jaillit d'un tuyau de trois pouces avec un bruit qui fait trembler les collines voisines. La terre est brûlée dans un rayon de 50 pieds. Mais plus loin la végétation est aussi abondante et aussi vigoureuse que sous les tropiques. Par une nuit calme, le bruit peut s'entendre à 15 milles de distance.

A 4 milles on croirait entendre un train de chemin de fer passant sur un pont peu éloigné. Ce bruit augmente au fur en à mesure qu'on se rapproche, et devient semblable à celui que ferait un millier de locomotives laissant échapper toute leur vapeur. A 200 mètres de distance, il ressemble au grondement continu du canon. La voix humaine peut à peine se faire entendre, et la flamme s'élance dans les airs jusqu'à une hauteur de 70 pieds, comme un clocher d'église embrasé.

Le gaz qui s'échappe de ces puits est presque entièrement composé d'hydrogène carboné, mélangé avec une petite quantité d'oxyde de carbone et d'acide carbonique. Sa puissance éclairante est de sept bougies et demie, celle du gaz de charbon étant à peu près de seize. La puissance calorifique est, à poids égal de 25 pour 100 environ plus forte que celle du bon charbon bitumineux. Au puits, dans un tuyau de 5 pouces, la pression du gaz est de 100 livres par pouce carré. Dans un plus petit tuyau, elle dépasse 200 livres, et si, par un tuyau de 2 pouces, on conduit le gaz jusqu'à Freepati, qui est à 15 milles du puits, la pression se trouve réduite de 200 à 125 livres. La vitesse ascensionnelle du gaz est de 1700 pieds par seconde. Si l'on multiplie ce chiffre par la surface du tuyau (17 pouces carrés), on trouve un débit de 289 pieds cubes par seconde, ou de 17.340 pieds cubes par minute, ou

bien 1 million de pieds cubes par heure. La quantité de gaz fournie journellement est donc de 1408 tonnes.

On estime le rendement du puits, en combustible, à plus de 3 millions de kilogrammes par jour. Des puits ont fourni du gaz pendant douze ans, sans diminution apparente.

§ IV. ORIGINE DES GAZ.

Dans un grand nombre de cas et conformément aux faits exposés plus haut, les hydrocarbures se sont formés sous l'influence des forces cosmiques, soit qu'ils se trouvent en réserve au-dessous des terrains stratifiés, soit qu'ils se produisent encore dans le voisinage des volcans.

Comme conclusions de leurs belles études sur les gaz inflammables de l'Italie, MM. Fouqué et Gorceix ont publié des considérations qu'il importe de reproduire ici.

Les vingt-quatre gaz des Apennins peuvent être classés en quatre groupes :

Un premier comprend le gaz de Sassuno, caractérisé par l'hydrure d'éthyle, dont seul il renferme une proportion notable.

Un second comprend tous les gaz qui renferment plus de 1,80 pour 100 d'acide carbonique. Dans ce groupe nous trouvons le gaz de Porretta, à l'exclusion de tous les autres.

La proportion d'acide carbonique s'élève même à plus de 5 pour 100 dans trois de ces gaz, ceux de Marte, de Bovi et de Leone. Les gaz de Porretta forment donc, à ce point de vue, un groupe naturel. Nous devons ajouter ici que ce sont les seuls qui sortent à des températures notablement supérieures à la température ordinaire, et que parmi eux les plus riches en acide carbonique sont aussi ceux qui sont accompagnés de l'eau la plus chaude.

Un troisième groupe renferme les gaz riches en azote. MM. Fouqué et Gorceix y placent tous les gaz des Apennins, contenant plus de 5 pour 100 d'azote. On y trouve deux des gaz de Porretta, précisément ceux d'entre eux qui sont les moins riches en acide carbonique ; puis le gaz de Fosso di Bagni, qui sort à quelques kilomètres seulement de Porretta et précisément du côté des deux sources précédentes. Ces trois gaz sont remarquables à un autre point de vue ; l'eau qui sort avec eux paraît plus riche en sulfures alcalins que celle des autres sources de Porretta. Dans ce même groupe se rencontrent encore deux autres gaz entièrement différents des précédents par leur gisement, par la température de l'eau qui les accompagne, laquelle ne dépasse pas la température ordinaire : ce sont ceux de San-Martino del Pedriolo et de San-Venanzio. Ce dernier contient plus de 10 pour 100 d'azote.

Enfin, dans un quatrième groupe où le gaz des marais prédomine exclusivement, s'observent les gaz de Barrigazzo, de Bocca-Suolo, de Monte Creto, de Sassuolo, de Salvarola, de Bergullo, de Riolo, de Pietra-Mala et de Gaggio. Il est fort remarquable de voir le gaz de Gaggio s'éloigner complètement à tous égards des gaz de Porretta, malgré le grand rapprochement de ces deux localités. Contrairement à

ce que montre les gaz de Porretta, le gaz de Gaggio est pauvre à la fois en azote et en acide carbonique, et l'eau qui suinte avec lui est à la température ordinaire.

Malgré ces différences, tous les gaz inflammables des Apennins appartiennent à une même famille naturelle caractérisée par la prédominance du moins carburé des gaz de la série $C^{2n}H^{2n+2}$, le gaz des marais. Ils sont presque toujours accompagnés de sources d'eaux minérales plus ou moins abondantes, chaudes ou froides, mais dans tous les cas fortement chargées de chlorure de sodium et fréquemment pourvues d'une petite quantité de carbonate de soude.

Très souvent aussi ils sont imprégnés de vapeurs de carbures liquides de la série $C^{2n}H^{2n-2}$, dont on sent fréquemment l'odeur sur le lieu de leur dégagement, et qui y imprègnent quelquefois le sol au point qu'on peut en retirer une certaine quantité à l'aide des dissolvants habituels de ces corps. De véritables sources de pétrole se rencontrent du reste fréquemment dans leur voisinage. Enfin, il est probable qu'ils renferment encore de faibles proportions des carbures gazeux les plus riches en carbone de la série $C^{2n}H^{2n+2}$, lesquels auront échappé à l'analyse à cause de leurs faibles proportions ; MM. Fouqué et Gorceix pensent en conséquence que la présence de l'hydrure d'éthyle dans le gaz de Sassuno n'est pas une anomalie, mais seulement un cas plus marqué de la règle générale. Ce gaz de Sassuno établit la liaison de composition qui existe entre les gaz des Apennins et ceux des sources pétrolifères d'Amérique ; dont la richesse en carbone varie, depuis celle du gaz des marais jusqu'à celle de l'hydrure de propyle. Les dégagements de gaz combustibles des Apennins sont donc les analogues de ceux des puits pétrolifères de l'Amérique ; ils offrent comme eux les relations les plus intimes aves les gisements de pétrole et avec les sources salées qui accompagnent ceux-ci.

D'autre part, nous voyons déjà à Porretta la proportion d'azote et d'acide carbonique augmenter dans les gaz, celle du gaz des marais diminuer. Puis l'eau minérale qui surgit avec le gaz n'y est plus à la température ordinaire, elle est à 38°,5 dans l'une des sources. En même temps l'eau se charge d'acide sulfhydrique ou de sulfures alcalins. Ainsi, déjà, se rencontrent là des caractères qui rapprochent ces émanations de celles des évents volcaniques secondaires.

Dans les gaz analogues de la Sicile, au moment de l'éruption de l'Etna en 1865, M. Fouqué a constaté la présence de petites quantités d'hydrogène libre, avec prédominance de gaz des marais. Au pied du Vésuve, sur le prolongement de la fissure de 1851, le même observateur avait déjà vu, avec MM. Ch. Sainte-Claire Deville et Félix Leblanc, l'hydrogène plus abondant encore. Aux Açores, il a aussi observé un fait analogue.

En Toscane, aux lagoni nous trouvons l'hydrogène, tantôt moins abondant que le gaz des marais, tantôt au contraire en proportion deux ou trois fois plus forte. En même temps nous voyons la teneur en acide carbonique et en hydrogène sulfuré augmenter considérablement, et la température s'élever jusqu'à 100°.

Enfin nous arrivons aux gaz de Santorin, et ceux d'Islande dans lesquels la proportion de gaz de marais devient très faible ou même nulle, tandis que l'hydrogène libre y joue au contraire le rôle le plus important. Dans ce cas, la température s'élève encore, et à Santorin les flammes provenant de la combustion de l'hydrogène se dégagent du sein même des laves incandescentes.

Ainsi, entre le gaz fortement carburé de la source pétrolifère de Pioneer-run, en

Amérique, et les gaz riches en hydrogène libre dégagés du centre même du volcan de Santorin, nous trouvons tous les passages de composition. A mesure que la température des émanations gazeuses naturelles s'élève, le degré de carburation des gaz diminue; l'acide sulfhydrique, l'acide chlorhydrique apparaissent successivement et enfin l'hydrogène libre devient de plus en plus abondant au milieu de ces gaz, et finit par venir brûler au contact de l'air au milieu des sels de potasse et de soude volatilisés par la chaleur des laves.

Il est d'autant plus impossible de faire une distinction tranchée entre les gaz des sources de pétrole et ceux des volcans, que, dans une foule de cas, les foyers des dégagements gazeux à basse température présentent des moments d'exacerbation pendant lesquels ils manifestent une élévation de température souvent considérable et des phénomènes violents qui rappellent ceux des véritables volcans à coulées de lave. La salse de Sassuolo a présenté plusieurs fois des manifestations de ce genre, et les descriptions pleines d'effroi qui ont été données par les témoins, montrent quelle en a été l'intensité. La salse de Paterno, en Sicile, qui en 1865 était dans l'état de calme le plus parfait, a été le siège, un an après, d'une éruption boueuse violente avec développement notable de chaleur et production de phénomènes remarquables dont la description exacte a été donnée par le professeur Silvestri.

Nous pourrions citer un grand nombre d'exemples pareils. D'autre part, on sait qu'il existe un grand nombre de volcans qui n'ont jamais fourni de coulées de laves, et dont les cônes sont uniquement formés de débris de toute espèce projetés avec de prodigieuses masses d'eau. Enfin, on sait encore que d'autres volcans émettent pendant leurs éruptions de grandes quantités de boue qui produisent d'effroyables désastres.

« En un mot, comme l'a fait remarquer Humboldt, les transitions sont si parfaitement ménagées dans la nature, qu'on ne saurait découvrir, disent MM. Fouqué et Gorceix, de différence essentielle entre le volcan et la salse, entre celle-ci et la source thermale. Il n'existe non plus aucune différence fondamentale entre la salse et le gisement de pétrole. Toute théorie ayant la prétention d'expliquer le plus humble de ces phénomènes devra donc en même temps rendre compte des plus grandioses. Si l'on attribue, avec Volta et avec les géologues de l'Amérique du Nord, une origine organique aux gaz des salses et aux pétroles, il faudra regarder les émanations combustibles des volcans en éruption comme dues à la même cause, et réciproquement, si l'on suppose que les produits volatils des volcans sont une provenance purement éruptive, on devra, à l'exemple de Spallanzani, admettre que les pétroles sont aussi d'origine inorganique. L'étude attentive des faits peut seule amener les géologues à se prononcer sûrement pour l'une ou l'autre de ces deux opinions. Nous espérons que nos expériences, en fournissant des données positives sur une partie intéressante de la question, seront de quelque utilité à ceux qui entreprendront de la résoudre. »

Souvent les gaz inflammables proviennent de la distillation naturelle des combustibles parfaits, plus ou moins riches en bitume, et surtout de la houille. Cette distillation donne des produits tantôt gazeux, comme l'hydrogène carboné, tantôt liquides ou solides, comme les bitumes et l'asphalte; elle n'est que dans des cas exceptionnels le résultat de la chaleur; ordinairement, elle s'effectue sous la seule

influence des actions chimiques, favorisées par la pression qui s'exerce sur les combustibles comme sur une éponge. Très fréquemment, les calcaires, les grès et les schistes qui accompagnent les bancs de combustible sont bitumineux et renferment même des rognons et des veinules d'asphalte ; les éléments bitumineux contenus dans ces roches proviennent certainement du combustible, et c'est la pression seule qui a pu les en retirer, puisque, dans le voisinage des points où l'on peut observer ces faits, il n'existe souvent pas de roches éruptives.

Il paraît indispensable de signaler le fait constant que des gaz sont renfermés dans les combustibles minéraux et spécialement dans la houille. Dans beaucoup de cas ils se dégagent d'eux-mêmes et peut-être certains jets naturels décrits plus haut dérivent-ils de cette origine. D'un autre côté ils sont associés intimement à la houille de façon à constituer sous forme de *grisou* l'un des principaux dangers des exploitations.

Des recherches ont été faites par M. E. Mayer sur les gaz contenus dans les houilles d'Allemagne. Ainsi, il a trouvé pour un échantillon :

Gaz des marais	20,4
Hydrogène percarburé	7,7
Acide carbonique	16,9
Azote	53,3
Oxygène	1,7
	100,0

Cette richesse en azote est des plus remarquables.

D'autres recherches comparatives ont été faites par le même chimiste[1], relativement aux gaz qui sont contenus dans les houilles de Bochum, suivant qu'elles sont à l'état frais (I) ou bien extraites de la mine depuis une année (II).

Il a obtenu les chiffres que voici :

NOMS de la houille exploitée		ACIDE carbonique	OXYGÈNE	AZOTE	GAZ de marais	100 grammes de houille contiennent de gaz
						centimètres cubes
Dickeband	I	2,18	2,12	70,51	25,19	43,3
	II	15,84	3,06	74,53	6,57	41,2
Sourenscheine	I	4,87	2,66	75,82	16,65	50,6
	II	11,12	2,86	78,60	7,40	43,2
Leonhard	I	3,72	0,39	90,19	5,70	42,0
	II	8,49	3,57	87,94	traces	36,4

D'un autre côté, M. Zitowstich a également déterminé la composition chimique du gaz renfermé dans un lignite terreux de Bohême, et il a obtenu :

1. *Jahresbericht der Chemie für* 1872. p. 1045.

Acide carbonique	83,99
Oxygène	0,65
Azote	14,91
Oxyde de carbone	1,04
	100,59

En outre, M. Meyer a trouvé dans le gaz de houilles, provenant de Zwickau, qui étaient restées pendant plusieurs années à l'air, une proportion de C^4H^6 qui s'élevait à 18 et même à plus de 23 p. 100.

Il résulte de ces remarques que l'histoire du grisou est des plus éloquentes pour éclairer l'origine des gaz combustibles.

Les accidents déterminés par l'explosion des gaz des houilles sont trop fréquents pour que tout le monde n'en connaisse pas les principales particularités. Cependant, pour la clarté des explications qui vont suivre, il est indispensable d'en rappeler deux exemples bien choisis.

Catastrophe de la mine du Treuil. — Dans les premiers jours du mois de février 1876, un événement désastreux est venu jeter la désolation et le deuil dans un grand nombre de familles de Saint-Étienne. Les terribles effets du *feu grisou* ont dépassé, dans cette circonstance, tout ce que l'on avait eu antérieurement à déplorer parmi les plus lugubres catastrophes de ce genre.

C'est le 4 février, à deux heures de l'après-midi, qu'arriva cet événement funeste.

Une détonation sourde et souterraine, analogue au bruit éloigné du canon, en avertit toute la ville de Saint-Etienne, qui apprit immédiatement qu'une explosion de *grisou* venait de se produire à la mine du Treuil. En 1871, cette même mine avait vu périr 90 mineurs à la suite d'une explosion pareille.

La mine du Treuil est située à gauche du chemin de fer de Lyon, avant d'arriver à Saint-Étienne. Deux puits existent là : le *puits Jabin*, par lequel arrive l'air, et le *puits Saint-François*, où le retour d'air est opéré par l'action d'un ventilateur.

216 ouvriers se trouvaient dans les galeries au moment où l'explosion se produisit. Les gaz délétères, résultant de la combustion du gaz, remplirent aussitôt l'intérieur de la mine en quantité telle qu'on ne put descendre immédiatement pour porter des secours. Le ventilateur du *puits Saint-François*, qui fonctionnait sans interruption, permit cependant d'effectuer la descente quelques heures après.

Les ingénieurs des mines de Saint-Étienne montrèrent un grand courage dans ces tristes circonstances. Des gardes-mines s'étant joints aux ingénieurs, on put retirer quelques hommes, qui furent accueillis avec la plus douloureuse compassion par la foule, qui attendait avec anxiété depuis une demi-journée le résultat de ces émouvantes et pénibles recherches. Les hommes que l'on remontait étaient brûlés par le feu ou blessés par les éboulements. On savait que le nombre total des victimes devait être de 216. Ce n'était d'ailleurs qu'avec beaucoup de peine qu'on avançait dans la mine, tant les éboulements étaient fréquents et considérables. A chaque instant, les galeries s'effondraient, et c'était au prix des plus grands dangers que se faisait le travail du déblaiement.

Une circonstance particulière vint encore compliquer les conséquences de ce malheur. L'explosion du feu grisou avait allumé quelques blocs de houille, que les ouvriers employés au déblaiement avaient négligé d'éteindre ou n'avaient pas remarqués, et le courant d'air une fois rétabli dans les galeries vint activer ce commencement d'incendie. Le feu couvait derrière les piliers de charbon qui soutenaient les voûtes de la mine; de sorte qu'une galerie tout entière, longue d'environ 200 mètres, finit par devenir la proie des flammes. L'incendie gagnait rapidement. Pour l'arrêter, on dut boucher les deux extrémités de la galerie. On ramassa promptement de l'argile et on s'en servit pour murer toutes les issues. Cet incendie opéra probablement l'incinération des cadavres qui n'avaient pas encore été retirés, et que l'on aurait trouvés, du reste, dans un état complet de putréfaction.

Le drame de la houillère du Treuil rappelle de semblables événements survenus dans l'explosion des houillères; mais on ne pourrait en citer aucun dans lequel le nombre des victimes ait été aussi considérable.

Au mois de mai 1835, les mines de houille de Newcastle, en Angleterre, firent explosion, et 47 individus périrent dans les flammes.

Au mois de juin 1838, la mine de l'Espérance, près de Liège, éprouva une détonation qui coûta la vie à 69 mineurs.

Sur 117 ouvriers qui descendirent un matin, au mois de juillet 1856, dans le puits de la mine de Cimmer, dans le Glamorganshire, 110 périrent une heure après, par une épouvantable explosion.

Au mois de décembre 1860, 170 ouvriers périssaient dans les mines de Montmouthshire (Angleterre).

Au mois de janvier 1862, 45 cadavres étaient retirés du charbonnage de Harfield, dans le Cumberland.

D'après un relevé statistique des catastrophes survenues dans les houillères d'Angleterre, document publié il y a quelques années par les inspecteurs du gouvernement, il y a eu de 1850 à 1860, c'est-à-dire en dix ans, 8466 personnes tuées et 30 000 blessées.

Catastrophe de Framerie. — Le jeudi 17 avril 1879, vers sept heures et demie du matin, une explosion de *grisou* eut lieu au puits n° 2 de l'Agrappe, près de la gare de Framerie (Belgique).

M. Burat, professeur au Conservatoire des arts et métiers, a donné sur ce triste événement des renseignements qu'il a recueillis lui-même sur les lieux.

Comme on exploite dans ce puits les couches grisouteuses, toutes les précautions d'usage, dit M. Burat, étaient observées minutieusement.

Le matin, il était descendu plus de 200 ouvriers.

Les sièges principaux de l'exploitation étaient aux profondeurs de 520 et de 550 mètres. 5 ouvriers étaient en travail préparatoire, à la profondeur de 610 mètres, isolés, par une porte, d'une traverse en voie de percement à ce niveau, vers la veine *Épuisard*, qui a $1^m,34$ d'épaisseur et qui est très grisouteuse. Ce dernier poste comprenait onze ouvriers. Il y avait un mécanicien dans le bâtiment qui couvrait le puits, huit hommes à la recette et deux femmes dans la lampisterie.

Vers sept heures et demie, on remarqua que le puits d'extraction exhalait un courant d'air fétide, et l'on envoya un exprès à l'ingénieur du puits pour lui

signaler ce fait anormal, le puits devant *avaler*, c'est-à-dire servir à l'entrée d'air.

On n'eut pas le temps d'éclaircir le fait, la salle du mécanisme s'étant remplie de grisou. Le mélange était devenu explosible, il s'alluma au poêle du machiniste et détermina une détonation violente. Le machiniste fut tué par le choc, les huit hommes de recette furent plus ou moins brûlés, ainsi que les deux femmes de la lampisterie dont la porte ouverte avait admis le gaz.

En même temps, un violent jet de flammes s'éleva du puits jusqu'à la charpente, où le feu se mit aussitôt. Cet immense bec de gaz, de $5^m,60$ de diamètre, continua à brûler pendant deux heures, sans que le feu se propageât dans les travaux souterrains, où aucune explosion ne s'était encore produite.

Vers neuf heures et demie, le feu était descendu, et une première explosion se fit entendre. Les autres se succédèrent, de quart d'heure en quart d'heure, jusque vers onze heures et demie, où eut lieu la neuvième et dernière, plus violente que les autres.

Que s'était-il passé dans les travaux? on l'ignorait, car ils étaient inaccessibles. Les charpentes embrasées tombaient sur le puits d'extraction et sur le puits d'aérage, dont le ventilateur était arrêté. Tous les efforts pour sauver le personnel s'étaient portés sur le puits d'aérage qui était en même temps le puits aux échelles, mais on ne put l'aborder qu'à trois heures et demie.

On y sauva quatre-vingt-sept ouvriers et l'on apprit avec consternation que le plus grand nombre, croyant que le courant d'air était renversé et craignant qu'on ne remît le ventilateur en mouvement, ce qui eût ramené tous les gaz méphitiques sur ce point, étaient redescendus aux accrochages inférieurs. Ils devaient donc avoir tous péri, par le seul fait des explosions qui s'étaient succédé. On tenta vainement de descendre dans les travaux par ce puits; à partir du niveau de 400 mètres, les passages étaient interceptés par de nombreux éboulements.

Ce fut seulement le dimanche 20, quatre jours après l'incendie, qu'on put descendre dans le puits d'extraction et que, par un bonheur inespéré, on put sauver encore les cinq personnes qui étaient montées au niveau de 580.

On sut alors avec certitude ce qu'on avait d'abord présumé. Un dégagement de gaz, d'une violence inouïe, s'était produit dans la veine Épuisard à la profondeur de 610 mètres. Les onze personnes qui s'y trouvaient avaient été immédiatement asphyxiées, tandis que celles qui étaient à 20 mètres au-dessus avaient compris qu'une perturbation considérable était survenue. Ils avaient entendu siffler la trombe gazeuse à travers la porte qui les protégeait; leurs lampes, système Mueseler, s'étaient éteintes, et ils étaient remontés à 580 mètres, où les éboulements supérieurs, produits par les explosions, les avaient protégés. Au bout de quatre jours passés dans une somnolence léthargique, ils croyaient, disaient-ils, n'être restés que vingt-quatre heures dans la mine.

Quand on analyse tous les faits observés, on voit qu'une quantité énorme de grisou a dû être subitement projetée par la couche Épuisard, quantité qui devait se trouver sous une pression très élevée dans des fissures ou des cavités du terrain. Le puits a dû être d'abord rempli et l'air expulsé, puisqu'il n'y a pas eu détonation souterraine. Or, le volume ainsi rempli, y compris la galerie de traverse, représente près de 10 000 mètres cubes. Pendant deux heures, le gaz est sorti à pleine section du puits, et si l'on suppose la vitesse de 1 mètre par seconde, c'est environ

72 000 mètres cubes de plus. Enfin les masses gazeuses, de neuf explosions qui se sont succédé pendant deux heures, annoncent un début décroissant qui peut être évalué à 30 000 mètres cubes. C'est donc un total de plus de 100 000 mètres cubes, dont l'irruption peut être appelée, suivant l'expression de M. Laguesse, ingénieur en chef des mines du Hainaut, un volcan du grisou, fait à peu près unique dans les annales des houillères.

Malgré cette violence de l'irruption du grisou, tout le personnel eût été sauvé si le puits aux échelles n'eût été rendu inaccessible par l'incendie des bâtiments.

Caractères du grisou. — Pour en revenir à notre objet principal, rappelons donc que le mot *grisou* désigne un mélange complexe et très variable, mais dont la base essentielle est toujours l'hydrogène protocarboné ou gaz des marais. Nous ne craindrons pas de faire à cet égard de nombreux emprunts, comme à la source la plus autorisée, au *Rapport de la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères*.

M. Turner, en Angleterre, M. Bischoff, en Allemagne, ont parfois rencontré le grisou presque pur, abstraction faite de quantités pour ainsi dire inappréciables d'hydrogène bicarboné, d'air et d'acide carbonique[1]. Le plus ordinairement cependant ces derniers éléments prennent une importance plus ou moins marquée.

M. Galloway a rencontré, dans de nombreux soufflards, de 80 à 90 pour 100 d'hydrogène protocarboné, avec de l'hydrogène et de l'azote en proportions variables et parfois un peu d'acide carbonique[2].

M. Schoudorff a obtenu pour le gaz d'un soufflard le résultat suivant[3] :

Gaz des marais.	93,664
Méthyle (C^4H^6).	0,884
Acide carbonique.	0,628
Oxygène et azote	4,824
	100,000

Il donne également l'analyse d'un air chargé de grisou dans lequel les lampes *marquaient*, en présentant une auréole bleue :

Azote	77,272
Oxygène.	17,942
Acide carbonique.	0,409
Gaz des marais.	4,517
Méthyle	0,063
	100,143

1. Combes, *Traité d'exploitation*, t. II, p. 306.
2. *Prevention of colliery accidents.*
3. *Journal de Carnall*, t. XXIV, p. 73.

M. Playfair a trouvé pour divers échantillons de grisou les chiffres suivants [1] :

Provenances	Gaz des marais	Azote	Oxygène	Acide carbonique	Hydrogène
Walsen (Beusham)	77,50	21,10	»	1,50	»
Id (pipe above ground).	92,80	6,90	0,60	0,50	»
Hebburn (24 feet below Bensham)	91,80	6,70	0,90	0,70	»
Hebburn (ditto a month after)	92,70	6,40	»	0,90	»
Hebburn (Bensham).	86,50	11,90	»	1,60	»
Jarrow (Bensham)	83,10	14,20	0,40	2,10	»
Id. (five quarter)	95,40	4,90	»	1,70	»
dI. (low main)	79,70	12,13	3,00	»	5,00
Id. (low main)	70,70	13,50	3,00	2,00	»
Well gate (five quarter seam).	98,20	1,30	»	0,50	»
Crom turch	19,31	65,80	13,50	0,80	»

M. Turner a donné de son côté une série de résultats dont on remarquera la grande variabilité [2].

Provenances	Gaz des marais	Air	Excès d'azote	Acide carbonique
Walsend (Bensham).	91,0	9,0	»	»
Hutton (Hutton 175 fathoms)	50,0	6,0	44,0	»
Id. (main 100 fathoms)	50,0	23,0	27,0	»
Jarrow (Bensham).	81,0	18,5	»	»
Id. (low main)	89,0	11,0	»	»
Killingworth (high main)	85,0	8,0	7,0	»
Burradon	91,0	9,0	»	»
Pensher (Hutton Waste 125 fathoms).	7,0	82,0	11,0	»
Id.	93,0	7,0	»	»
Id.	28,0	67,5	4,5	»
Id.	68,0	28,7	»	3,5

M. Bischoff a obtenu les proportions suivantes [3] :

Provenances	Hydrogène protocarboné	Hydrogène bicarboné	Gaz étrangers
Mine de Gerhardt.	79,84	1,90	18,26
Id.	83,08	1,98	14,94
Mine de Wellesweiler.	87,43	6,05	6,52
Id.	91,56	6,32	2,52
Puits de Schaumbourg (lias)	79,10	16,11	4,79

1. *Transactions of the North of England Institute of mining and mechanical engineers*, t. XII, p. 190 et 201.
2. *Philosophical Magazine*, 1839. — *Annales des mines*, 3e série, t. XVII, p. 550. — *Transactions of the North*, t. XII, p. 201.
3. Bischoff, *Edinburgh Journal*, janvier 1841. — Renier-Malherbe, *Du grisou*, 1862. — *Transactions of the North*, etc., t. XII, p. 201.

Analyses de M. Graham [1] :

Provenances	Hydrogène proto-carboné	Azote	Oxygène
Killingworth (low main)	82,50	16,50	»
Gateshad (five quarter seam)	94,90	4,50	1,30

Analyses de M. Richardot [2].

Provenances	Gaz des marais	Air	Azote	Acide carbonique
Killingworth (low main)	66,30	23,25	6,32	4,03
Townley (three quarter seam)	56,17	33,15	4,68	6,00

Les études faites par M. Fouqué ont fourni la composition suivante pour du gaz provenant d'Anzin, fosse Réussite; profondeur, 350 mètres; distance du puits, 250 mètres [3] :

Hydrogène protocarboné.	93,51
Hydrogène	2,24
Acide carbonique	2,97
Oxygène	0,21
Azote.	1,07
	100,00

M. Thomas a accompli sur les houilles du pays de Galles un travail considérable dans lequel il donne ce tableau comparatif [4] :

Provenances	Gaz des marais	Azote	Acide carbonique	Oxygène	Hydride d'éthyle
Soufflard	97,65	1,85	0,50	»	»
Id.	96,74	2,79	0,47	»	»
Id.	94,84	5,06	0,10	»	»
Id.	95,05	0,69	4,26	»	»
Id.	47,37	41,58	0,90	10,15	»
Id.	95,47	3,91	0,62	»	»
Id.	95,51	2,53	1,96	»	»
Id.	94,78	3,60	0,72	»	0,90
Id.	95,56	3,98	0,35	0,11	»
Trou dans la houille. . .	97,31	2,31	0,38	»	»
Id. . . .	96,54	3,02	0,44	»	»
Id. . . .	74,86	20,30	0,15	4,69	»
Id. . . .	97,37	2,21	0,42	»	»
Id. . . .	95,42	3,98	0,60	»	»

M. Thomas a étendu également ses recherches à la composition du gaz, retiré des divers combustibles par l'influence combinée du vide et d'une température de

1. *Transactions of the North.* etc , t. XII, p. 201.
2. *Transactions of the North*, etc., t. XII, p. 201.
3. Pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la commission d'étude des moyens propres à prévenir les explosions du grisou, p. 75.
4. M. Thomas, *Journal of the Chemical Society*, t. XIII. p. 820.

100 degrés [1]. Il a, du reste, constaté qu'il n'y a aucune relation directe entre ces résultats et les dégagements spontanés dans le gîte ;

Nombre de centimètres cubes dégagés à 100° dans le vide	Provenances	Gaz des marais	Azote	Oxygène	Acide carbonique
55,9	Bitumineuse	»	62.78	0,80	36,42
61,2	*Id.*	0,40	80,11	2,72	16,77
55,1	*Id.*	63,76	29,75	1,05	5,44
24,0	*Id.*	2,68	69,07	6,09	22,16
39,7	*Id.*	31,98	56,34	2,25	9,43
73,6	Semi-bitumineuse.	72,51	14,51	0,64	12,34
194,8	Houille de chaudière.	87,30	7,33	0,33	5,04
250,1	*Id.*	81,64	4,66	0,49	13,21
218,4	*Id.*	84,22	9,88	0,44	5,46
147,4	*Id.*	67,47	12,61	1,02	18,90
375,4	*Id.*	86,92	3,49	0,34	9,25
149,5	*Id.*	73,47	14,62	0,56	11,35
215,4	*Id.*	82,30	11,12	0,54	5,64
555,5	Anthracite.	93,13	4,25	»	2,62
600,6	*Id.*	84,18	1,10	»	14,72

Voici une seconde série du même auteur [2].

Nombre de centimètres cubes dégagés à 100° dans le vide	Houilles	C^2H^4	C^2H^6	C^3H^8	Az	Co^2
421,3	Cannel de Wigan (350 yards).	80,69	4,75	»	8,12	6,44
350,6	*Id.* (600 yards).	77,19	7,80	»	5,96	9,05
16,8	Cannel de Wilsontoun.	»	»	»	46,06	53,94
55,7	Cannel de Lesmahago.	»	»	0,91	14,54	84,55
55,7	Cannel de Whitehall.	»	2,67	»	28,58	68,75
30,2	Jet de Whitby.	»	»	86,90	2,17	10,93

L'hydrogène sulfuré entre aussi dans les mélanges grisouteux. La dissémination, dans beaucoup de gîtes, de pyrites altérables explique facilement le développement de ce gaz. La présence du soufre présente, suivant M. Berthelot, une certaine importance, car divers composés de ce métalloïde, s'ils existaient dans le mélange, en pourraient abaisser sensiblement le point d'inflammation.

MM. Sarrau et de Castelnau ont signalé le sulfhydrate d'ammoniaque dans les travaux de Sumène [3]. M. Munier a reconnu l'hydrogène sulfuré dans les lignites

1. M. Thomas, *Journal of the Chemical Society*, p. 812.
2. *Transactions of the North*, etc., t. XXVI, p. 35.
3. *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société d'industrie minérale de Saint-Étienne*, janvier 1879, p. 6.

de Forcalquier[1]. M. Percy a trouvé dans une houille de l'île de Kerguelen jusqu'à 13 pour 100 de soufre avec très peu de fer, ce qui indiquerait une combinaison à l'état de sulfocarbure plutôt qu'un sulfure ordinaire.

Quoique le gaz des marais soit ordinairement considéré comme insoluble dans l'eau, même alcaline, on cite cependant divers exemples de dissolution du grisou. Ainsi M. Chausselle, ingénieur principal des houillères de Saint-Étienne[2], cite le fait suivant : Un fonçage exécuté en 1870 au puits Saint-Louis avait été abandonné, envahi par l'eau sur une hauteur de 17 mètres et repris en 1877. La colonne d'aspiration des pompes d'épuisement venant à s'allonger progressivement, et par suite abaissant de plus en plus la pression, on vit avec surprise le jet d'eau dégager du grisou qui éteignait une lampe Muesler et prenait feu en donnant une grande flamme. Celle-ci accompagnait l'eau dans son mouvement comme lorsqu'on agite un bol de punch. L'épuisement ayant été achevé, on a pu constater, d'après l'inspection des parois, que la partie supérieure de cette cavité n'avait pas été noyée et avait dû, par suite, rester remplie d'air et de grisou sous la pression effective de 17 mètres d'eau, c'est-à-dire à la pression réelle de $2^{atm}.7$, qui avait pu faciliter la dissolution du gaz. M. Chausselle a estimé à 2 ou 3 centièmes environ du volume de l'eau celui du gaz dégagé, sans toutefois donner cette appréciation comme complète, puisque l'eau pouvait encore rester chargée de gaz.

M. Chavatte, directeur de Crespin-lès-Anzin[3], a fait exécuter à Quiévrechain un sondage qui, à partir de 300 mètres, a donné des traces évidentes de grisou. Quand on remontait les cuillers, les matières commençaient à bouillonner au bout de quelques instants, ce qui représentait environ six minutes à partir de leur départ du fond. On pouvait, en allumant ce gaz, obtenir des flammes de $0^m,30$ de hauteur.

Ce fait est également bien connu à Bessèges. Lorsqu'on perce aux eaux, dans un milieu grisouteux, sous une grande pression, on prend à cet égard des précautions spéciales qui sont précisées par le règlement[4].

A défaut de dissolvants liquides bien caractérisés, Alloys Wehrle a signalé la condensation de l'hydrogène protocarboné par l'éponge de platine. Il a annoncé que, l'oxygène jouissant de la même propriété, les deux gaz mis en présence dans cet état particulier se combinent en dégageant assez de chaleur pour rougir la mousse de platine. M. Trausenster, en voulant contrôler l'efficacité de ce moyen, en a reconnu l'inanité[5].

La seule affinité vraiment importante du grisou est celle qu'il présente pour l'oxygène, et elle constitue précisément la source du danger qu'il fait courir aux exploitations houillères. L'hydrogène protocarboné est en effet un corps combustible dont les deux éléments sont susceptibles de s'unir avec l'oxygène pour former de l'eau

1. *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société d'industrie minérale de Saint-Étienne*, janvier 1879, p. 6.

2. *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société d'industrie minérale de Saint-Étienne*, septembre 1877, p. 6.

3. *Comptes rendus mensuels*, avril 1879, p. 35. — Pièces annexées aux procès-verbaux de la commission, p. 65.

4. Carnet du règlement pour employés des mines de Bessèges, p. 18.

5. Emploi de l'éponge de platine pour la combustion du grisou (*Annales des travaux publics de Belgique*, t. VII, p. 179).

et de l'acide carbonique. Un volume de gaz mis en rapport dans des conditions convenables avec deux volumes d'oxygène produit deux volumes de vapeur d'eau, qui se condensent, et un volume d'acide carbonique. On voit donc que la combustion du grisou fait disparaître, après le refroidissement, un volume double de celui qu'il occupait dans l'atmosphère avec un excès d'oxygène.

Cette combinaison peut du reste avoir lieu de deux manières bien différentes : avec une flamme bleue légère et transparente, ou avec une violente explosion. Le premier mode se présentera si l'on a un simple bec débitant du gaz. M. Grüner fait remarquer toutefois que la nuance bleue appartient en propre au mélange préalablement effectué de grisou et d'air. Si, au contraire, du grisou pur brûle au contact d'une masse d'air distincte, la flamme sera blanche. Ce fait correspond à un degré de combustion plus ou moins complète, et qui saisit le carbone directement, ou en laisse un instant les particules en ignition après la décomposition de l'hydrogène carboné précédant l'oxydation intégrale de ses éléments. L'auteur rapporte à ce sujet une très intéressante observation qu'il a faite à Saint-Étienne, à l'époque où le *pénitent* enflammait encore le gaz au plafond des galeries. M. Grüner ayant voulu se rendre compte par lui-même de ces redoutables fonctions, vit des nappes blanches de feu courir au toit des ouvrages.

Au lieu d'une combustion tranquille, il se produit une détonation, si une atmosphère formée de grisou et d'air préalablement mélangés en proportions convenables subit le contact, non pas seulement d'un corps solide incandescent, qui ne suffirait pas en général pour déterminer l'explosion, mais d'une flamme gazeuse. Ces proportions ont été étudiées depuis longtemps par Davy. Si la quantité de grisou n'atteint pas 3 à 4 centièmes, on n'observe rien de spécial. Pour cette proportion, la flamme commence à *marquer*, suivant l'expression des mineurs ; c'est-à-dire qu'elle s'entoure d'une auréole bleuâtre en même temps qu'elle s'allonge et devient fuligineuse. A 6 pour 100, la flamme est devenue très longue et l'auréole très épanouie, à 7 ou 8 centièmes, l'inflammation se propage avec une certaine lenteur dans la masse. Aussi voit-on parfois le feu courir au faîte des galeries comme une traînée de poudre, menaçant d'une catastrophe, s'il vient à rencontrer des régions où la proportion soit encore plus élevée. L'explosion est alors instantanée, et c'est vers 12 à 14 pour 100 qu'elle atteint le maximum d'énergie. Au delà, on parcourt en sens inverse une série d'effets analogues. Vers 20 centièmes on se trouve à peu près dans les mêmes conditions qu'à 6 pour 100, et à 30 centièmes la lampe s'éteint. Il est inutile de rappeler que les circonstances ne peuvent être étudiées qu'avec une lampe de sûreté[1].

L'explosion peut parfois être empêchée par une certaine dose d'acide carbonique. M. Malherbe[2] indique comme suffisante à cet égard la proportion de 1/7.

M. Mallard a mesuré les vitesses d'inflammation du grisou[3] en déterminant, dans les tubes, des vitesses suffisantes pour que la tranche lumineuse devienne stationnaire, d'après une méthode déjà employée par MM. Schlœsing et Demondésir, ainsi que par M. Bunsen. M. Mallard a trouvé ainsi les nombres suivants :

1. Callon, *Cours d'exploitation des mines*, t. II, p. 424.
2. Renier-Malherbe, *du Grisou*, 1862.
3. *Annales des mines*, 7e année, t. II, p. 355.

Volume de grisou contenu dans un volume de mélange.	Volume de grisou correspondant à un volume d'air.	Vitesse d'inflammation en mètres par seconde.
0,079	0,086	0m,041
0,093	0,103	0m,325
0,103	0,115	0m,505
0,106	0,120	0m,550
0,113	0,127	0m,524
0,115	0,130	0m,515
0,118	0,134	0m,440
0,123	0,140	0m,375
0,138	0,161	0m,139

La courbe fournie par ces valeurs présente un maximum dont la valeur paraît être 0m,56 par seconde et correspondre à une proportion de 0,108 de grisou dans un volume de mélange. De part et d'autre de ce point, on voit la vitesse tomber rapidement jusqu'à devenir inappréciable pour 0,077 comme pour 0,145 de grisou renfermé dans un volume de mélange. Au delà de ces points, le gaz n'est plus ni explosible ni inflammable.

De nouvelles expériences faites par MM. Mallard et Le Châtelier ont précisé davantage ces chiffres et indiqué 0.62 comme la vitesse d'inflammation maximum, correspondant à un mélange de 12,10 de grisou avec 100 parties d'air.

M. le professeur Frankland[1] a fait remarquer que la température d'inflammation du grisou est plus élevée que pour les mélanges correspondants formés avec le gaz de l'éclairage.

MM. Mallard et Le Châtelier ont déterminé expérimentalement les températures de combustion des gaz suivants :

Hydrogène bicarboné.	550	degrés
Hydrogène.	580	—
Oxyde de carbone	650	—
Hydrogène protocarboné	780	—

Cette température reste la même pour les mélanges d'un même gaz avec l'air et l'oxygène en toute proportion.

La présence de l'acide carbonique élève d'une façon notable la température de combustion du mélange d'oxyde de carbone. La combinaison de ce dernier gaz avec l'oxygène commence du reste à des points inférieurs à celui qui vient d'être cité ; à 450° déjà l'effet se produit avec une vitesse très appréciable. Dans ces conditions, la combustion a lieu lentement et sans flamme.

La densité de l'hydrogène protocarboné pour 0,558 donne une limite inférieure à celle du grisou. Cette dernière en reste en général assez rapprochée, à moins que l'hydrogène bicarboné (0,971) et surtout l'acide carbonique (1,529) ne prennent

1. *Journal of the Chemical Society*, 1863, p. 398.

une grande importance dans le mélange. Des mesures directes ont d'ailleurs fourni à divers expérimentateurs les résultats suivants [1] :

Houillères.	Densités.	Observateurs.
Gateshead (five quarter seam).	0,5802	Graham
Barradon (Jarl Coal).	0,6000	Turner
Walsend (Bensham).	0,6024	*Id.*
Killingworth (high main).	0,6196	*Id.*
Jarrow (lowmain).	0,6209	*Id.*
Hebburn (Bensham).	0,6327	Graham
Jarrow (Bensham).	0,6381	Turner
Killingworth	0,6386	Graham
Hetton (Hutton 175 fathoms).	0,7470	Turner
Hetton (main 100 fathoms).	0,7800	*Id.*
Killingworth	0,8226	*Id.*
Pensher (Hutton waste 125 fathoms). .	0,9660	*Id.*

D'après la légèreté spécifique que présente ordinairement le grisou, si l'on considère une cavité dans laquelle aucune cause ne vienne brasser l'atmosphère, le gaz, au lieu de s'étaler en nappe à la sole de la galerie, comme le fait l'acide carbonique, se rendra directement à la partie supérieure, qu'il occupera presque à l'état de pureté.

Puis, par la tendance à la diffusion qui est inhérente aux fluides aériformes, il se stratifiera en couches présentant tous les degrés de teneur en carbone, jusqu'au niveau du sol où se trouvera l'air le plus pur.

Le gaz des marais est incolore. Son pouvoir réfringent semble sensiblement différent de celui de l'air. Telle est du moins l'explication qui a été donnée de certaines apparences signalées depuis longtemps, analogues à des fils de la Vierge ou des toiles d'araignées. Elles seraient dues aux petits filets gazeux qui s'échappent du charbon en gagnant directement le toit sans se mélanger à l'air et qui occasionneraient ainsi une déviation dans le trajet des rayons lumineux [2].

L'hydrogène protocarboné est ordinairement inodore et insapide. Parfois on trouve au grisou un léger goût de pomme. Dans certains cas il prend une odeur fétide.

Il produit quelquefois un léger picotement aux yeux.

Il n'est pas toxique, mais il devient asphyxiant, si sa proportion atteint le tiers environ du volume du mélange respiré.

Le grisou semble préexister à l'état gazeux, enfermé sous une pression plus ou moins élevée dans les pores du massif de charbon ou des roches encaissantes. Cependant un certain nombre d'ingénieurs inclinent à le considérer comme le produit de la dissociation, au dernier moment, de composés liquides ou même solides très volatils qui seraient contenus dans la houille.

Lorsque le dégagement du grisou est un peu abondant à un front de taille, une oreille attentive le perçoit facilement par un petit bruissement particulier que les mineurs appellent le *chant du grisou*. On dit aussi que le gaz *fuse*. On peut com-

1. *Transactions of the North*, etc., t. XII, p. 201.
2. Dumas, *Chimie industrielle*, t. I, p. 468.

parer ce bruit à celui de la pluie ou encore d'une bouilloire pendant les instants qui précèdent la mise en train de l'ébullition.

Ce phénomène est produit par le décrépitement d'une multitude de parcelles de houille détachées par la pression des bulbes de gaz qui tendent à s'échapper des pores du combustible. Cette circonstance est analogue à ce qui se passe lors de la dissolution du sel gemme dans l'eau. Ce minéral renferme lui-même un gaz à peu près identique au grisou de la houille, et lorsque l'épaisseur des parois vient à s'affaiblir au point de ne pouvoir résister à la pression intérieure, celle-ci fait éclater cette paroi.

D'autres indices mettent d'ailleurs en évidence la pression du grisou. On voit certaines houillères dont les fronts de taille se gonflent, se gauchissent et éclatent ou s'exfolient. Dans certaines exploitations du Borinage, les ouvriers s'abstiennent de hâver sous le charbon, pour ne pas offrir une surface de plus à l'issue du gaz. Ils aiment mieux le garder comme auxiliaire en attaquant en face son front de taille qu'il tend par derrière à pousser au vide.

M. de Marsilly, dans sa remarquable série d'expériences comparatives sur les houilles [1], a vu souvent celles-ci dégager deux ou trois fois leur volume de gaz. D'après la loi de Mariotte, ce dernier s'y serait donc trouvé soumis à une pression de deux ou trois atmosphères, en calculant comme s'il eût rempli exactement le volume du combustible. Mais comme il n'en occupait au contraire que les parois, on voit que sa pression devait être encore plus considérable, dans une proportion qu'il est d'ailleurs impossible de préciser. M. de Marsilly a également reconnu qu'une pression de cinq atmosphères exercée sur la surface de la houille n'empêche pas le dégagement du grisou, bien qu'il y ait lieu de croire qu'elle en ralentit l'activité.

On voit également que l'inondation d'étages inférieurs, quoique diminuant probablement les écoulements gazeux, ne saurait leur opposer un obstacle absolu. Le gaz se dégage alors en bulles à travers l'eau et forme parfois des brouillards tumultueux. Dans le lit de la Susquehanna, près de Wilkesbarre, en Pensylvanie, se trouve au-dessus d'un gîte d'anthracite un abondant dégagement de grisou qui, depuis de nombreuses années, n'a cessé de produire en cet endroit un fort bouillonnement [2]. Combes a signalé également un soufflard de grisou qui s'est frayé pendant fort longtemps un passage, à Firminy, à travers une colonne d'eau de 12 mètres de hauteur [3].

M. Renier-Malherbe cite [4] les forages de trous de mines d'où le grisou s'échappait avec un bruit qui rappelait la décharge d'une chaudière à vapeur. Sa pression semble, du reste, d'une manière générale, croître avec la profondeur [5]. On en a constaté dans le flénu qui atteignait le chiffre formidable de 16 atmosphères [6].

Cette tension du gaz dans les pores de la houille tient à la fois, d'une part aux conditions contemporaines de sa formation, et en outre avec pressions subies intérieurement par le gîte de la part des terrains superposés. Le premier ensemble de

1. *Annales des mines*, 3ᵉ série, t. XII, p. 356.
2. Sauvage, *Annales des mines*, 7ᵉ série, t. VIII, p. 225.
3. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1836, 1ᵉʳ semestre, p. 509.
4. Renier-Malherbe, *Du Grisou*, p. 78.
5. Devaux, *Annales des travaux publics en Belgique*, t. XXIII, 1866.
6. Cornet, *Bulletin de l'Académie royale de Belgique*, 2ᵉ série, t. XVIII, mai 1879. — *Compte rendu mensuel*, juillet 1879, p. 165.

causes a dû agir d'une manière assez uniforme, au moins dans un même gîte. Toutefois d'une formation à l'autre on observe des différences générales. Il est reconnu par exemple que les charbons gras à coke ou à gaz sont ordinairement les plus riches en grisou, et les anthracites beaucoup moins, bien que celles de Pensylvanie par exemple et de Graissessac-ouest en renferment fréquemment.

Mais l'influence des couches supérieures s'est au contraire exercée de la manière la plus variable. Suivant que le toit s'est trouvé étanche ou perméable, suivant qu'il est resté intact ou qu'il a été fissuré par les soulèvements successifs, le gaz a dû rester emprisonné ou s'écouler depuis longtemps au dehors.

Parfois cette déperdition aura eu lieu à l'air libre. D'autres fois il y a eu un simple extravasement du gaz dans un toit poreux qui en est resté imprégné. Il arrive en effet que certains ouvrages au rocher dégagent du grisou et occasionnent des accidents tout comme le combustible lui-même. D'autres fois enfin des cavités naturelles, très habituellement des failles, ont reçu ces dépôts funestes auxquels on donne le nom *de sacs de grisou.*

Ces gisements gazeux se trouvent de préférence au toit. Cependant le mur lui-même peut s'en trouver rempli, ce qui place alors l'exploitation dans des conditions encore plus fâcheuses.

Suivant M. Devaux, les sacs de grisou se trouvent surtout aux crochons et aux changements brusques de pente. Leur peu de volume les expose parfois à être manqués par les sondages dont on fait précéder les avancements suspects.

Certains grès contiennent assez de gaz pour déterminer l'éboulement des parois non muraillées dans les puits. Le grisou peut même se répandre jusqu'à la surface de la terre. A Liège, en 1857 et en 1859, la température du sol s'est élevée sur un certain point jusqu'à 50 degrés par une combustion lente du grisou[1].

On appelle *soufflard* une sorte de fontaine de gaz dont la durée, parfois éphémère, peut aussi se compter par mois et par années. A Wellesweiler (Sarrebruck), un certain soufflard a duré pendant une cinquantaine d'années[2]. On en a même, à diverses époques, capté pour l'éclairage, et Jars cite dans le siècle dernier un phare de la côte de Whitehaven qui était alimenté par le grisou des mines[3]. Le village de Fredonia, près de Buffalo, était vers 1830 éclairé par une source de gaz provenant d'une couche de houille[4]. George Stephenson, de 1831 à 1835, a éclairé la surface de la mine de Wilmington avec le gaz d'un soufflard capté dans l'intérieur[5]. On voit encore en Angleterre des exemples analogues.

On admet unanimement que la majeure partie du gaz renfermé dans le massif s'écoule dans les premiers moments qui suivent la mise à vif des surfaces; qu'au bout de quelques heures, au premier effet produit succède un régime moins abondant qui se prolonge en diminuant progressivement pendant un temps plus ou moins long, au bout duquel le dégagement d'une masse convenablement dénudée est absolument terminé. On a remarqué, par exemple, que certains traçages très grisouteux sont suivis de périodes de dépilage qui ne donnent plus de gaz[6]. De

1. Renier-Malherbe, *Du Grisou*, p. 12.
2. Renier-Malherbe, *Du Grisou*, p. 80.
3. Jarvi, *Voyages métallurgiques*.
4. *Journal de Silliman*, t. X, p. 399.
5. *Reports on accidents of mines*, p. 110.
6. Soulary, *Annales des mines*, 7e série, t. XI, p. 250.

même on observe souvent au moment de l'abatage un allongement souterrain de la flamme des lampes qui doit porter alors à beaucoup de prudence dans cette opération. Parfois la durée de la seconde période est très courte. M. de Marsilly a en effet constaté que certains charbons qui, exposés pendant douze heures sous une cloche, y dégageaient une atmosphère très inflammable, ne donnaient plus rien à froid après plusieurs jours d'exposition à l'air[1]. D'autres fois, elle est beaucoup plus longue, comme le prouvent par exemple les dégagements de gaz explosible qui se produisent dans les soutes des navires. Les industriels savent également très bien que certaines houilles perdent, par l'exposition à l'air, une partie de leur pouvoir calorifique. M. Bishof a constaté, par exemple[2], qu'un tas de lignite de 9^{m},50 de hauteur, laissé à l'air pendant cinq ans, avait perdu 12,5 pour 100 de son pouvoir calorifique.

De plus, sa composition s'était modifiée de la manière suivante :

		Carbone.	Hydrogène.	Oxygène.	Cendres.
Composition primitive		58,94	5,70	22,60	12,76
Composition modifiée	en haut	52,65	4,76	24,75	17,82
	au milieu	55,61	4,96	24,08	15,23
	en bas	55,85	5,02	23,95	15,18

Lorsque tout dégagement a cessé à froid, il peut encore, la plupart du temps, se continuer sous l'influence de la chaleur. Une température de 100° n'est pas même suffisante pour tout extraire et on retire encore des matières volatiles à 200 et 300°[3]. M. de Marsilly a vu cependant des combustibles perdre à froid en plusieurs mois tout leur gaz, et n'en plus donner ensuite, même à une température de 300°[4].

L'altération ainsi subie est du reste assez profonde, car le principe gras qui sert à coller le coke se détruit en même temps. Les exploitants connaissent, en effet, l'importance qu'il y a à ne pas laisser trop longtemps certains charbons exposés sur les haldes avant la carbonisation. Cet effet est très marqué : par exemple, à Commentry, M. Fayol[5] a constaté qu'en perdant son pouvoir d'agglomération, le combustible fixe de l'oxygène avec dégagement de chaleur et augmentation de poids qui peut atteindre 20 pour 100 quand le charbon est divisé. La faculté d'agglomération disparaît entièrement au bout de deux jours dans l'air chauffé à 150°, et d'un seul jour si la température est de 200° ; mais il subsiste encore en partie après un séjour d'un mois dans l'eau d'une chaudière maintenue à 150°.

On peut aider également la sortie du gaz, non plus par la chaleur, mais par l'influence du vide. MM. Half et Clark ont fait dans le Lancashire l'expérience suivante : ils ont pratiqué dans la houille un trou de mine, de manière à le faire parcourir par un piston, et ils ont installé un manomètre indiquant la pression dans ce tube. En tirant le piston, on déterminait un dégagement gazeux qui rétablissait presque instantanément la pression. Si alors on repoussait le piston dans

1. De Marsilly, *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 356.
2. *Transactions of the North*, etc., t. XXV, p. 180.
3. Thomas, *Journal of the Chemical Society*, t. XIII, p. 769.
4. *Annales des mines*, 5e série, t. XII, p. 357.
5. Fayol, *Comptes rendus mensuels*, 22 septembre 1878.

le trou, le gaz refluait en divers points de la surface de la houille. En répétant l'opération, on arrivait à développer ainsi une grande quantité de grisou[1].

Le grisou existe parfois dans les mines métalliques. Ainsi, d'après M. Alfred Caillaux, plusieurs hommes ont été tués en 1845 par une explosion de grisou dans la mine métallique de Monte-Cattini, en Toscane. Ce gaz a paru, à trois reprises, à Pontpéan, où il suinte à peu près en permanence. Comme la grande faille produite par la réouverture du filon a déterminé un rejet qui a mis une partie du gîte au niveau des terrains tertiaires, on avait pu croire à l'influence de dépôts ligniteux qui auraient existé dans ces couches. Mais diverses circonstances donnent à penser que le grisou vient de la profondeur à travers le terrain silurien. Il se rattacherait alors à la catégorie des grandes fontaines de gaz de la Chine, du pays de l'huile, en Pensylvanie, etc., que leur extrême abondance, leur longue durée et leur situation géologique ne permettent pas toujours d'expliquer par la présence de gîtes de combustible minéral.

La présence de l'hydrogène carboné dans les gîtes de chlorure de sodium est bien connue. On l'a observée notamment à la mine de sel de Sztaline, qui était éclairée au grisou dès 1826. Il a été rencontré aussi à la saline de Gottesgabe, à Rheine (Westphalie)[2], à Zugo de Klein (Transylvanie[3]), à Wieliczka, etc.

M. Pernolet a signalé également plusieurs coups de grisou, observés dans des soufrières de Sicile à la rencontre de travers-bans avec des marnes bitumineuses[4].

1. *Transactions of the North*, etc., t. XXV, p. 246.
2. *Annales de Poggendorff*, t. VII, p. 133.
3. *Annalen der Phys. de Gelbert*, t. XXXVII, p. 133.
4. Extrait du Rapport de M. Haton de la Goupillière au nom de la Commission du Grisou, *Annales des mines*, sept. et octobre 1880.



TABLE DES MATIÈRES

CHARBON DE BOIS

NOIR DE FUMÉE

COMBUSTIBLES MINÉRAUX

